

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**EVALUACION DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD EN EL SISTEMA
DE RIEGO POR ASPERSION EN LADERA USANDO TRES
MODELOS DE ASPERSORES Y TRES PENDIENTES, EN LLUSCO, 2024**

PRESENTADO POR:

Br. CLAUDIO WIGMAN CHAVEZ ALVIS

**PARA OPTAR AL TITULO PROFESIONAL
DE INGENIERIA CIVIL**

ASESOR:

Dr. Ing. EDWIN ASTETE SAMANEZ

CUSCO – PERU

2025

DEDICATORIA

Agradezco a Dios por orientarme en el camino del aprendizaje por motivarme a avanzar en mi desarrollo profesional. A mi madre Alejandrina Alvis C Corpuna, quien incondicionalmente me ha respaldado y ha sido un modelo durante mi formación profesional, y a mi padre Mario Chávez Martínez, quien siempre se ha mantenido a mi lado animándome en las decisiones que tomo en la vida.

Para mis cuatro hermanos y dos hermanas increíbles, gracias por enseñarme que la vida es más divertida cuando estás con ellas. Esta tesis es el resultado de años de risas, secretos y ropa prestada en el armario. ¡También son responsables de este éxito!

Claudio Wigman Chávez Alvis

AGRADECIMIENTOS

- ✓ Agradezco infinitamente a Dios, por darme salud y vida, por brindarme fortaleza todos los días y por guiarme por el camino de la vida:
- ✓ A la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco y a la Facultad de Ingeniería Civil, por haber sido el espacio donde me formé y crecí exitosamente como profesional.
- ✓ A mi asesor Dr. Ing. Edwin Astete Samanez, por haberme guiado en la realización del presente trabajo.
- ✓ A todos los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, por compartir sus conocimientos y habilidades, lo cual hizo posible la realización de este proyecto
- ✓ A mis padres Mario Chávez Martínez y Alejandrina Alvis Ccorpuna, por darme los buenos consejos y por haberte estado siempre acompañando en este proceso de mi investigación.

Claudio Wigman Chávez Alvis

RESUMEN

La presente investigación se desarrolló en la comunidad de San Sebastián Llusco Ccollana, perteneciente al distrito de Llusco, en la provincia de Chumbivilcas, con el objetivo de evaluar el coeficiente de uniformidad en terrenos de ladera. Para tal fin, se seleccionaron tres modelos de aspersores de uso frecuente en la Región del Cusco: VYR 35, F30 y VYR 70. Las pruebas se realizaron en tres parcelas diferentes: en "Huayllapata", con una pendiente del 3.5%; en "Q'enqo", con una pendiente del 10.6%; y en "Lakitiyu", con una pendiente del 21.5%.

Las valoraciones se realizaron de acuerdo con el enfoque sugerido por Salassier en el año 2002. Se colocaron 144 recolectores de lluvia de un litro, distribuidos de forma equitativa.

En conclusión, el coeficiente de uniformidad en ladera presenta variaciones entre los tres modelos de aspersores evaluados. Los aspersores VYR 70 mostraron los valores más altos de CUC, alcanzando hasta un 91.17 % en una pendiente del 10.8 %. Por otro lado, el aspersor VYR 35 registró un CUC de 45.65 % en una pendiente del 21.5 %, lo que indica que sus resultados oscilan entre inaceptables y aceptables. Además, se observó que los mejores resultados de CUC se obtuvieron en pendientes del 3.5 %, seguidos por las del 10.8 % y, finalmente, en las del 21.5 %.

Palabras clave: Coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC), inclinación del terreno, dispositivo de aspersión, presión de operación y estructura del sistema de riego.

ABSTRACT

The research was conducted in the San Sebastián Llusco Ccollana community, Llusco district, and Chumbivilcas province, with the aim of evaluating the slope uniformity coefficient.

To conduct the evaluation, three sprinkler models widely used in the Cusco Region were selected: the VYR 35, F30, and VYR 70. The tests were conducted on three different plots: "Huayllapata," with a 3.5% slope; "Q'enqo," with a 10.6% slope; and "Lakitiyu," with a 21.5% slope.

The assessments were carried out following the methodology proposed by Salassier (2002). 144 1-liter rain collectors were installed, distributed equidistantly.

In conclusion, the slope uniformity coefficient varies among the three sprinkler models evaluated. The VYR 70 sprinklers showed the highest CUC values, reaching up to 91.17% on a 10.8% slope. On the other hand, the VYR 35 sprinkler recorded a CUC of 45.65% on a 21.5% slope, indicating that its results range from unacceptable to acceptable. Furthermore, it was observed that the best CUC results were obtained on slopes of 3.5%, followed by those of 10.8% and, finally, those of 21.5%.

Key words: Christiansen uniformity coefficient (CUC), slope, sprinkler, pressure, irrigation frame.

INDICE

CAPITULO I: INTRODUCCION	1
1.1. Planteamiento del problema	1
1.2. Formulación del problema	5
1.2.1. Problema General.....	5
1.2.2. Problema Especifico	5
1.3. Justificación.....	5
1.4. Objetivos de la investigación	7
1.4.1. Objetivo General.....	7
1.4.2. Objetivos Específicos.....	7
1.5. Hipótesis.....	7
1.5.1. Hipótesis General	7
1.5.2. Hipótesis Especifica.....	7
CAPITULO II: MARCO TEORICO.....	9
1.1. Antecedentes de la Investigación	9
1.1.1. Internacionales	9
1.1.2. Nacionales.....	15
2.2 Bases teóricas.....	17
2.2.1 Sistema de riego en ladera	17
2.2.2 Topografía y relieve	18
2.2.3 Agua en el suelo.....	21
2.2.4 Relación suelo agua planta y atmosfera.	28
2.2.5 Medición de agua de riego.....	33
2.2.6 Riego por aspersión.....	42
2.2.6 Aspersores	55
2.2.9 Descripción y ubicación de los colectores.....	81
2.2.10 Coeficiente de uniformidad de Christiansen.....	81
2.3 DEFINICIONES DE TERMINOS (MARCO CONCEPTUAL)	87
2.3.1 El agua	87
2.3.2 Coeficiente de Uniformidad de Christiansen	87
2.3.3 Aspersor	87

2.3.4	Sistemas de riego	87
2.3.5	Marco de riego.....	88
2.3.6	Presión	88
2.3.7	Hidrante	88
2.3.8	Tubería de distribución	89
2.3.9	Canal de conducción entubado.....	89
2.3.10	Caudalímetro	89
2.3.11	Manómetro.....	89
3.1	Enfoque de la investigación	90
3.2	Alcance de estudio	90
3.3	Diseño de la Investigación	91
3.4	Operacionalización de variables	92
3.5	Población.....	93
3.6	Muestra	93
3.7	Muestreo	93
3.8	Técnica e Instrumento	93
3.8.1	Técnicas de recolección de datos.....	93
3.8.2	Instrumentos de recolección de datos.....	94
3.8.3	Materiales y equipos	94
3.9	Delimitación del Estudio	95
3.9.1	Delimitación Espacial.....	95
3.9.2	Delimitación temporal	97
3.10	Trabajos Preliminares.....	97
3.10.1	Reconocimiento del campo experimental.....	97
3.10.2	Sistematización del campo experimental	98
3.11	Determinación del coeficiente de uniformidad de distribución de agua	98
3.11.1	Caudal del aspersor	100
3.11.2	Intensidad media de precipitación	100
3.11.3	Presión de operación	101
3.11.4	Disposición de los aspersores.....	101
3.11.5	Resumen	101
3.11.6	Medidas de las precipitaciones	103

3.11.7	Repetición del ensayo.....	103
CAPITULO IV RESULTADOS.....		104
4.1	Resultados obtenidos	104
4.1.1	Evaluación del coeficiente de uniformidad de distribución del aspersor VYR 35. .	104
4.1.2	Evaluación del coeficiente de uniformidad de distribución del aspersor VYR70. .	127
4.1.3	Evaluación del coeficiente de uniformidad de distribución del aspersor F-30.....	148
4.2.1	Evaluación N° 06, aspersor VYR 35.	169
4.2.2	Evaluación N°07, aspersor VYR35.	171
4.2.3	Evaluación N° 07, aspersor F-30	173
5.2.4	Evaluación N°08 aspersor F-30	175
4.2.4	Evaluación N°09, aspersor VYR 70.	177
4.2.5	Evaluación N° 10, aspersor VYR70.	179
CAPITULO V DISCUSIÓN DE RESULTADOS		181
5.1	Síntesis de los resultados de la evaluación de coeficiente de uniformidad de distribución de agua.	181
5.1.1	Resultados de coeficiente de uniformidad en ladera.	181
5.2	Interpretación de los resultados.....	186
5.2.1	Comparación de líneas de regresión por modelo de aspersor	186
5.2.2	Relación del coeficiente de uniformidad con la intensidad del viento.	187
5.2.3	Comparación de líneas de regresión por pendiente de terreno.....	189
5.2.4	Comparación de líneas de regresión por marcos de riego	196
CONCLUSIONES		197
RECOMENDACIONES		198
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS		199
ANEXOS.....		202
Anexo 01: Constancia de ensayos		202

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Nivel de observación de variables climáticas.....	30
Figura 2. Medición de caudales utilizando un balde y un cronometro.	35
Figura 3. Método del flotador.	36
Figura 4. Área de un canal.	36
Figura 5. Medición de caudal en una tubería llena en posición horizontal.	40
Figura 6. Cañón de riego tipo enrollador.	52
Figura 7. Partes de un aspersor	56
Figura 8. Aspersores de brazo oscilante.	58
Figura 9. Modelo de reparto de un aspersor funcionando en ausencia del viento	62
Figura 10. Efecto del viento sobre el modelo de reparto	62
Figura 11. Efecto de diferentes presiones sobre el modelo de reparto delaspersor.	66
Figura 12. Aspersor VYR 35.	70
Figura 13. Aspersor F30	72
Figura 14. Aspersor VYR 70	73
Figura 15. Distribución de los aspersores.....	79
Figura 16. Distribución de los aspersores.....	79

Figura 17. Distribución de los aspersores	80
Figura 18. Mapa de ubicación de la tesis.	96
Figura 19. Ubicación del campo experimental	96

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clases de pendiente	19
Tabla 2: Clases de microtopografía o microrelieve	20
Tabla 3: Retención de agua del suelo por textura.....	26
Tabla 4: Valores para caracterizar el coeficiente de uniformidad de Christiansen.....	84
Tabla 5: Matriz de operacionalización de variables	93
Tabla 6: Materiales y equipos.....	95
Tabla 7: Características del experimento	104
Tabla 8: Lectura de los pluviómetros en ml	105
Tabla 9. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores	105
Tabla 10. Lectura de los pluviómetros en ml.	106
Tabla 11. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores	107
Tabla 12. Lectura de los pluviómetros en ml.	108
Tabla 13. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores.	108
Tabla 14. Características del experimento	110
Tabla 15. Lectura de los pluviómetros en ml	110
Tabla 16. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores	111

Tabla 17. Lectura de los pluviómetros en ml.	112
Tabla 18. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores	112
Tabla 19. Lectura de los pluviómetros en ml.	114
Tabla 20. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores	114
Tabla 21. Características del experimento.	116
Tabla 22. Lectura de los pluviómetros en ml.	116
Tabla 23. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores	117
Tabla 24. Lectura de los pluviómetros en ml.	118
Tabla 25. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores.	119
Tabla 26. Lectura de los pluviómetros en ml.	120
Tabla 27. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores	121
Tabla 28. Características del experimento.	122
Tabla 29. Lectura de los pluviómetros en ml.	122
Tabla 30. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores	123
Tabla 31. Lectura de los pluviómetros en ml.	124
Tabla 32. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores.	124
Tabla 33. Lectura de los pluviómetros en ml.	126
Tabla 34. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores	126

Tabla 35. Características del experimento	127
Tabla 36. Lectura de los pluviómetros en ml.	128
Tabla 37. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores.	128
Tabla 38. Lectura de los pluviómetros en ml.	129
Tabla 39. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores.	130
Tabla 40. Lectura de los pluviómetros en ml.	131
Tabla 41. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores	131
Tabla 42. Características del experimento.	133
Tabla 43. Lectura de los pluviómetros en ml.	133
Tabla 44. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores	134
Tabla 45. Lectura de los pluviómetros en ml.	135
Tabla 46. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores.	135
Tabla 47. Lectura de los pluviómetros en ml.	137
Tabla 48. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores.	137
Tabla 49. Características del experimento	138
Tabla 50. Lectura de los pluviómetros en ml.	139
Tabla 51. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores.	139
Tabla 52. Lectura de los pluviómetros en ml.	140

Tabla 53. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores	141
Tabla 54. Lectura de los pluviómetros en ml.	142
Tabla 55. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores.	142
Tabla 56. Características del experimento.	143
Tabla 57. Lectura de los pluviómetros en ml.	144
Tabla 58. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores.	144
Tabla 59. Lectura de los pluviómetros en ml.	145
Tabla 60. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores.	146
Tabla 61. Lectura de los pluviómetros en ml.	147
Tabla 62. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores.	147
Tabla 63. Características del experimento.	148
Tabla 64. Lectura de los pluviómetros en ml.	149
Tabla 65. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores.	149
Tabla 66. Lectura de los pluviómetros en ml.	150
Tabla 67. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores.	151
Tabla 68. Lectura de los pluviómetros en ml.	152
Tabla 69. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores.	152
Tabla 70. Características del experimento.	153

Tabla 71. Lectura de los pluviómetros en ml.	154
Tabla 72. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores.	154
Tabla 73. Lectura de los pluviómetros en ml.	155
Tabla 74. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores.	156
Tabla 75. Lectura de los pluviómetros en ml.	157
Tabla 76. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores.	157
Tabla 77. Características del experimento.	158
Tabla 78. Lectura de los pluviómetros en ml.	159
Tabla 79. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores.	159
Tabla 80. Lectura de los pluviómetros en ml.	160
Tabla 81. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores.	161
Tabla 82. Lectura de los pluviómetros en ml.	162
Tabla 83. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores.	162
Tabla 84. Características del experimento.	163
Tabla 85. Lectura de los pluviómetros en ml.	164
Tabla 86. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores.	164
Tabla 87. Lectura de los pluviómetros en ml.	165
Tabla 88. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores.	166

Tabla 89. Lectura de los pluviómetros en ml.	167
Tabla 90. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores.	167
Tabla 91. Características del experimento.	169
Tabla 92. Lectura de los pluviómetros en ml.	169
Tabla 93. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores.	170
Tabla 94. Características del experimento.	171
Tabla 95. Lectura de los pluviómetros en ml.	171
Tabla 96. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores.	172
Tabla 97. Características del experimento.	173
Tabla 98. Lectura de los pluviómetros en ml.	173
Tabla 99. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores.	174
Tabla 100. Características del experimento.	175
Tabla 101. Lectura de los pluviómetros en ml.	175
Tabla 102. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores.	176
Tabla 103. Características del experimento	177
Tabla 104. Lectura de los pluviómetros en ml.	177
Tabla 105. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores.	178
Tabla 106. Características del experimento.	179

Tabla 107. Lectura de los pluviómetros en ml.	179
Tabla 108. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores.	180
Tabla 109. Resultados del coeficiente de uniformidad en ladera, en cinco modelos de aspersores y tres pendientes enMarco de riego de 18 x 18 m.....	182
Tabla 110. Análisis de Varianza.	186
Tabla 111. ANOVA para coeficiente de uniformidad de Christiansen (%) por velocidad de viento (m/s).	187
Tabla 112. Análisis de Varianza.	190
Tabla 113. Resultados de la evaluación del coeficiente de uniformidad en tres marcos de riego en cinco modelos de aspersores.	193
Tabla 114. Análisis de Varianza.	196

CAPITULO I: INTRODUCCION

1.1. Planteamiento del problema

La crisis hídrica se está extendiendo a nivel mundial y se prevé que para el 2050 más del 50% de la población se enfrentará a la escasez de agua, un problema agravado por el cambio climático (Bintein et al., 2023). La agricultura, que consume aproximadamente el 70% de las extracciones de agua dulce y es fundamental para la seguridad alimentaria, se ve directamente afectada por esta situación. El problema es aún mayor en Perú, donde se prevé que para el 2030 el 58% de la población vivirá en áreas con escasez de agua (Gestion,2023).

El sector agrícola peruano, que utiliza el 80% del agua del país, enfrenta una ineficiencia significativa en la distribución y uso del agua. Esto se debe a métodos de riego obsoletos y a la falta de tecnificación (Agricultural Water Summit, 2022).

La tecnificación y la eficiencia en el riego emergen como soluciones clave en este escenario. Para maximizar el uso del agua, es importante utilizar sistemas de riego avanzados como el riego por aspersión. Esto puede mejorar la productividad agrícola y apoyar la seguridad alimentaria y la economía local, además de ayudar a conservar un recurso cada vez más escaso.

Se han llevado a cabo acciones importantes a nivel global para aliviar esta situación, como los programas del Banco Mundial que mejoraron el acceso al agua y el saneamiento en varias naciones. Estas iniciativas reconocen la escasez hídrica como una crisis multidimensional que afecta los derechos humanos, la economía y la geopolítica,

y subrayan la necesidad de una acción colaborativa y estratégica a nivel nacional e internacional.

Aunque cuenta con un sistema de riego por aspersión, el distrito de Llusco en Chumbivilcas, Cusco, enfrenta un desafío particular en la crisis hídrica. Los problemas principales de este sistema incluyen fugas en las tuberías, mantenimiento insuficiente y la falta de tecnologías de control de riego avanzadas, lo que resulta en un uso ineficiente del agua.

La toma de decisiones informadas para mejorar el sistema se ve obstaculizada por la falta de datos precisos y el seguimiento adecuado. Por lo tanto, la investigación proporcionará datos objetivos sobre la eficiencia del sistema de riego por aspersión porque es una necesidad social, económica y técnica para la sostenibilidad hídrica de la región y para apoyar a los agricultores locales.

Según datos del año 2012 en el Perú, la superficie total habilitada para riego fue de 2.579.900 hectáreas. De esta extensión, el 92 % (2.362.144 ha) correspondió al riego por gravedad o superficial, el 3 % (86.873 ha) al riego por aspersión, y el 5 % (130.883 ha) al riego localizado. La superficie efectivamente regada también suma 1.808.302 hectáreas; Las tierras agrícolas con riego se localizan principalmente en las áreas costeras, abarcando el 57%, en las regiones montañosas, el 38%, y en las zonas forestales, solo el 5% (FAO, 2016). Según el Anexo 02 IV del Censo Nacional Agropecuario (CENAGRO) 2012, la superficie agrícola de riego y secano según departamento en el año 2012 en el Perú fue de 7.125.007,8 hectáreas; Contamos con

una superficie de regadío de 2.579.899,9 hectáreas y una superficie de secano de 4.545.107,9 hectáreas.

De igual forma, en Cusco, con una superficie total de 407.924,9 hectáreas, tenemos una superficie de riego de 98.220,9 hectáreas y una superficie de secano. 309.704,0 hectáreas. (INEI, 2012).

La superficie destinada a actividades de riego y cultivo asciende a 1.808.302 hectáreas, lo que representa el 70,1 % del total del área agrícola con infraestructura de riego (2.579.900 hectáreas). En contraste, el 29,9 % restante, equivalente a 771.598 hectáreas, se encuentra actualmente en situación de abandono.

El riego por gravedad se aplica en más de 1.590,5 mil hectáreas, lo que equivale al 88,0 % de la superficie total bajo riego. Por su parte, el riego por goteo se emplea en el 7,0 % del área, mientras que el 4,8 % utiliza sistemas de aspersión para la recolección y distribución del agua. De acuerdo con la ubicación geográfica, en la costa y en la Sierra, el riego por gravedad es el más común, constituido por el 83,3%, mientras que el riego por goteo y exudación corresponde a un 6,9%, y el riego por aspersión en la Sierra se calcula en un 3,4% de la totalidad del terreno. (INEI, 2012).

El sistema de riego por aspersión distribuye el agua en forma de precipitación simulada sobre una superficie de cobertura circular. En terrenos con pendiente, este tipo de riego se implementa comúnmente mediante alas móviles compuestas por uno o dos aspersores, conectados a una línea de tubería de polietileno de aproximadamente cincuenta metros de longitud y diámetros de $\frac{1}{2}$ o $\frac{3}{4}$ de pulgada. Las cuchillas se

desplazan hasta que toda la parcela esté completamente humedecida (Avidan,1993; Kalvász, 1998). El aspersor puede contar con una o dos boquillas perforadas.

A partir de ahí, un chorro de agua con presión actúa sobre la mano y crea segmentar el flujo en pequeñas gotas de lluvia (Keller, 1988; Avidan, 1993). Debido a estas condiciones, se pueden instalar dispositivos de riego por goteo y microaspersión en pendientes que operan a bajas presiones y bajos caudales. El uso eficiente del agua por parte de los agricultores requiere, además de información previa (y si es necesario, incentivos económicos mínimos), el intercambio de conocimientos con consultores, ingenieros y científicos. Con una formación mínima y una información continua, los agricultores podrán mejorar su enfoque y tecnología.

La disponibilidad de información técnica precisa, complementada con la experiencia práctica, resulta crucial para la adecuada selección del sistema de riego más conveniente según las condiciones específicas. Asimismo, el uso de materiales y equipos certificados constituye un factor clave para maximizar la eficiencia del riego, contribuyendo a una producción agrícola más intensiva y sostenible. El uso del agua debe ser productivo y eficaz (Santos, 2010).

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema General

PG: ¿Cómo varía el coeficiente de uniformidad en el sistema de riego por aspersión en ladera usando tres modelos de aspersores y tres pendientes, en Llusco, 2024?

1.2.2. Problema Específico

PE1: ¿Cuál será el coeficiente de uniformidad del sistema de riego por aspersión utilizando aspersor modelo VYR 70 en diferentes pendientes del terreno en Llusco, 2024?

PE2: ¿Cuál será el coeficiente de uniformidad del sistema de riego por aspersión utilizando aspersor modelo VYR 35 y en diferentes pendientes del terreno en Llusco, 2024?

PE3: ¿Cómo será el coeficiente de uniformidad del sistema de riego por aspersión utilizando aspersor modelo F30 y en diferentes pendientes del terreno en Llusco?

1.3. Justificación

El presente trabajo de investigación es importante, ya que nos brinda la posibilidad de determinar el coeficiente de uniformidad en la inclinación del terreno mediante el uso de tres modelos de aspersores. Los productores agrícolas no están convencidos de si los sistemas de aspersión que utilizan reparten el agua de forma homogénea o si los resultados de sus evaluaciones varían. Los productores agrícolas tendrán la capacidad de tomar decisiones más acertadas y sugerencias para maximizar la utilización de los recursos acuáticos en sus sistemas de riego.

En Perú, hay zonas de cultivo en pendientes y/o laderas donde se utilizan sistemas de riego por aspersión sin tener conocimiento de la uniformidad de distribución de agua. Además, en algunos casos, los elevadores se colocan de manera incorrecta, algunos con perpendicularidad y otros con diferentes grados de inclinación. Actualmente, no se han realizado estudios que determinen si hay uniformidad de distribución en terrenos con pendiente, incluyendo la posición de elevador. A través de la mejora de la gestión del agua en la agricultura, este proyecto de tesis se alinea con los objetivos globales de desarrollo sostenible y contribuye a la ingeniería sostenible.

Para que los agricultores mejoren el sistema de riego en sus tierras y en todo el distrito de Llusco, es esencial analizar la uniformidad en la distribución del agua y la efectividad del riego en las parcelas utilizando módulos de riego y diferentes tipos de aspersores. Este estudio medirá la eficiencia del riego en las parcelas, nos proporcionará un punto de partida y obtendrá resultados que señalarán futuras acciones o la implementación de planes de trabajo de distribución.

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo General

OG: Evaluar el coeficiente de uniformidad con tres modelos de aspersores y en tres pendientes del terreno en el sistema de riego por aspersión, en Llusco, 2024.

1.4.2. Objetivos Específicos

OE1: Evaluar el coeficiente de uniformidad del sistema de riego por aspersión utilizando aspersor modelo VYR 70 y en diferentes pendientes del terreno en Llusco, 2024.

OE2: Determinar el coeficiente de uniformidad del sistema de riego por aspersión utilizando aspersor modelo VYR 35 y en diferentes pendientes del terreno en Llusco, 2024.

OE3: Evaluar el coeficiente de uniformidad del sistema de riego por aspersión utilizando aspersor modelo F 30 y en diferentes pendientes del terreno en Llusco, 2024.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis General

HG: La variación del coeficiente de uniformidad en tres modelos de aspersores y en diferentes pendientes del terreno son de relación directa en el sistema de riego por aspersión, en Llusco, 2024.

1.5.2. Hipótesis Específica

HE1: El coeficiente de uniformidad con aspersor modelo VYR 70 y su relación con 21.5% de pendiente del terreno es directa en el sistema de riego por aspersión, en Llusco, 2024.

HE2: El coeficiente de uniformidad con aspersor modelo VYR 35 y su relación con 10.6% de pendiente del terreno tiene una relación directa en el sistema de riego por aspersión, en Llusco, 2024.

HE3: El coeficiente de uniformidad con aspersor modelo F-30 y su relación con 3.8% de pendiente del terreno es directa en el sistema de riego por aspersión, en Llusco, 2024.

CAPITULO II: MARCO TEORICO

1.1. Antecedentes de la Investigación

1.1.1. Internacionales

Montero (2016), en su artículo de estudio titulado “Análisis de la uniformidad de riego en sistemas de aspersión semiportátil con aspersores de gran tamaño”,(presentado en el XXXIV Congreso Nacional de Riegos, Sevilla), tuvo como objetivos caracterizar el coeficiente de uniformidad (CU) bajo distintos escenarios de presión de funcionamiento en condiciones climáticas variadas; analizar la respuesta de la uniformidad del riego frente a la combinación de factores como la velocidad del viento, la presión, la separación y el marco de riego; y ofrecer recomendaciones útiles para el diseño y manejo de sistemas de riego por aspersión con aspersores de gran tamaño semiportátiles en zonas semiáridas. El estudio analizó cómo la presión de trabajo, el marco de riego y las condiciones climáticas, especialmente la velocidad del viento, afectan la uniformidad de aplicación en estos sistemas. Se probaron diferentes combinaciones de parámetros para evaluar su impacto en la eficiencia del riego. Se determinó que la distribución del agua mediante aspersores de gran tamaño es similar a la obtenida con aspersores medianos. Una presión de operación de 450 kPa demostró ser más eficiente que 500 kPa, incluso al emplear boquillas de mayor diámetro. La velocidad del viento, especialmente cuando supera los 2 m/s, afecta significativamente el patrón de distribución del agua. Se logró alcanzar coeficientes de uniformidad aceptables utilizando marcos de riego de 24×30 m² y 30×30 m² bajo condiciones de viento moderado, como las presentes en riegos nocturnos. En función de estos hallazgos,

se proponen criterios técnicos orientados a optimizar el diseño y manejo de estos sistemas en diferentes contextos operativos.

Zayas et al. (2014), en su artículo de revista titulado “Evaluación y propuesta de medidas en diferentes técnicas de riego por aspersión para un uso eficiente del agua”, Un estudio publicado por el Instituto de Investigación de Ingeniería Agrícola de Cuba tuvo como objetivo evaluar el desempeño de diversas técnicas de riego por aspersión mediante la determinación del coeficiente de uniformidad y la eficiencia de descarga, con el propósito de desarrollar un plan de acción que fomente el uso eficiente del agua de riego. Para ello, se realizó un levantamiento técnico en el área de estudio que permitió identificar la distribución de los sistemas de riego empleados. Posteriormente, se llevaron a cabo evaluaciones de campo conforme a las normas NC-ISO 11545:2007 y NC-ISO 8224-1:2011, utilizando el software EVALEN como herramienta de apoyo. Se analizaron sistemas como enrolladores con cañón, enrolladores con ala piovana, laterales rodantes y máquinas de pivote central. Los resultados mostraron que las menores eficiencias de descarga correspondieron al enrollador con cañón (0.60) y al lateral rodante (0.63). Para satisfacer las demandas hídricas del cultivo de papa, se determinó la necesidad de aplicar volúmenes adicionales de agua significativos: 3,333.20 m³ para el enrollador con cañón, 2,936.60 m³ para el lateral rodante, 1,944.40 m³ para la máquina de pivote central y 1,940 m³ para el enrollador con ala piovana, totalizando 10,154.20 m³. Asimismo, se constató que, dentro del área total destinada al riego, el sistema lateral rodante abarca el mayor porcentaje, seguido por el pivote central eléctrico y los enrolladores. Además, se identificó que las técnicas con menores eficiencias de descarga, como el enrollador con cañón y el lateral rodante, están asociadas a mayores

volúmenes de extracción de agua, lo que enfatiza la necesidad de optimizar estos sistemas para promover un uso más racional y sostenible del recurso hídrico.

Ulloa, M. C. (2009), en su artículo de investigación titulado “Manejo del agua de riego en zonas de ladera”, publicado por la (Universidad Central del Ecuador), El estudio aborda el reto de optimizar la eficiencia del riego en sistemas agrícolas ubicados en laderas de la región andina. En este escenario, la agricultura de subsistencia se caracteriza por el uso limitado de insumos y una producción orientada principalmente al autoconsumo, con poca o ninguna inversión en fertilización y mecanización. La gestión del riego se realiza de manera empírica, sin un control adecuado sobre la cantidad de agua aplicada ni sobre las pérdidas por infiltración profunda, lo que genera bajos niveles de uniformidad y eficiencia. Además, la débil coordinación entre los centros de investigación y los servicios de extensión agrícola dificulta la transferencia efectiva de tecnologías apropiadas. El objetivo del estudio es identificar soluciones tecnológicas adaptables a las condiciones físicas y sociales de las zonas montañosas, promoviendo una investigación participativa que involucre a agricultores, extensionistas e investigadores de manera colaborativa. En sus conclusiones, el autor señala que los sistemas de riego por aspersión y goteo representan alternativas viables para suelos en ladera, debido a sus bajos costos de instalación y mantenimiento, facilidad de operación y la capacidad de optimizar el uso del agua mediante la utilización del desnivel del terreno como fuente de energía. Asimismo, destaca que la capacitación de los agricultores en la gestión de estos sistemas puede mejorar significativamente la

eficiencia del riego y los rendimientos agrícolas, respaldándose en estudios realizados en Ecuador que evidencian la efectividad de estos métodos en zonas montañosas.

Cisneros y Pacheco (2007) realizaron un artículo científico titulado "Evaluación del soporte técnico en el manejo de sistemas de riego por aspersión en zonas de montaña". El estudio evaluó el impacto del soporte técnico en el desempeño de sistemas de riego por aspersión en zonas montañosas. Se comparó una etapa inicial sin intervención técnica con dos etapas posteriores tras la capacitación de los agricultores. Para ello, se analizaron indicadores como la uniformidad en la aplicación del agua, la eficiencia en el almacenamiento y las pérdidas por infiltración, escorrentía y evaporación. El objetivo principal fue evaluar el rendimiento de estos sistemas tras la implementación de un programa de extensión técnica. Los autores concluyeron que el apoyo técnico mejora de manera significativa la eficiencia del riego, aunque también identificaron la necesidad de continuar con la formación, especialmente en relación con la duración adecuada del riego. Además, destacaron que una adopción masiva de sistemas de riego por aspersión de baja pluviosidad podría favorecer la conservación de recursos hídricos y del suelo, así como la reducción de riesgos ambientales.

Poma (2014), en su tesis de pregrado, titulada “Estudio del comportamiento hidráulico relacionado a la uniformidad de aplicación mediante el método de riego por aspersión en la Estación Experimental de Choquenaira” (Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia). El estudio tuvo como finalidad analizar el comportamiento hidráulico vinculado a la uniformidad en la aplicación del riego por aspersión en la estación experimental correspondiente. El análisis se llevó a cabo en la región del altiplano boliviano, caracterizada por condiciones climáticas altamente variables. Se examinaron datos climáticos recopilados a lo largo de ocho años para evaluar su impacto en la eficiencia del sistema de riego. Los resultados indicaron que las variables climáticas en la zona de Choquenaira presentan una considerable variabilidad. La temperatura anual promedio es de 7.7 °C, con rangos que oscilan entre -15 °C y 22 °C, y una precipitación anual de 485 mm. Asimismo, se registró una velocidad media del viento de 1.91 m/s, factor que puede afectar de manera significativa la eficiencia del riego por aspersión. Finalmente, se identificaron dos estaciones climáticas claramente diferenciadas — húmeda y seca—, aspecto fundamental para la adecuada planificación de los horarios de riego.

Mérida (2017), en su tesis de posgrado titulada “Análisis de la eficiencia de distribución de agua del sistema de riego por aspersión de la aldea Quilenco, Chiantla, Huehuetenango” (Universidad Rafael Landívar, Quetzaltenango, Guatemala).

El objetivo del estudio fue determinar la eficiencia de distribución (ED) del sistema de riego por aspersión en la comunidad de Quilenco, ubicada en el municipio de Chiantla. Para ello, se evaluó el coeficiente de uniformidad (Cu), obteniéndose un valor promedio de 57.11%, con un rango de variación entre 42.14% y 63.86%. Considerando que un sistema de riego eficiente debe presentar un Cu mínimo del 80%, los resultados evidencian un desempeño deficiente del sistema evaluado. Se detectaron modificaciones respecto al diseño original, tales como la reducción de los espaciamientos entre aspersores —que pasaron de los valores propuestos a distancias entre 5 y 10 metros—, lo cual disminuyó la cobertura diaria estimada de 0.08 ha a 0.04 ha en la práctica. Asimismo, todos los productores sustituyeron los aspersores metálicos tipo U61-D recomendados en el diseño por modelos plásticos de uso comercial con especificaciones operativas diferentes. Estas alteraciones comprometen significativamente la eficiencia del sistema, explicando su bajo rendimiento actual.

1.1.2. Nacionales

Soto, H. J. (2002) “Manual para el diseño y gestión de pequeños sistemas de riego por aspersión en laderas” (Cusco, Perú: MASAL.). y como objetivo Un sistema de riego respaldado por asistencia técnica institucional, con turnos de riego claramente establecidos y canales que reciben un mantenimiento adecuado.

En conclusión, la mayor parte de los esquemas significativos de riego en laderas menores muestran restricciones y carencias, ya que no operan de manera óptima y se confrontan problemas de desuso.

Japa y Rodríguez (2015) en su tesis pregrado “Evaluación del balance hídrico en la línea de distribución N° 02 del sistema de riego por aspersión en la comunidad de astobamba” (Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Pasco, Perú). tuvo como objetivo Evaluar la oferta y la demanda hídrica en el área de influencia de la línea de distribución N°02 del Sistema de Riego por Aspersión de la Comunidad de Astobamba. En conclusión, de acuerdo con la planificación de riego implementada por los usuarios, no se alcanza a cubrir la totalidad del área prevista para irrigación (7360 m²) a través de la línea de distribución N.º 02. Se identificó un déficit del 31% del área, equivalente a 2,307.10 m², que no recibe riego debido a las limitaciones en los diámetros de cobertura de los aspersores utilizados.

Lovon (2018), en su tesis de posgrado titulada “Evaluación del coeficiente de uniformidad de distribución de agua en cinco modelos de aspersores y tres pendientes en el Centro Agronómico Kayra – San Jerónimo”, tuvo como objetivo analizar el comportamiento del coeficiente de uniformidad en condiciones de ladera, en el Centro Agronómico Kayra, ubicado en San Jerónimo – Cusco. Los resultados revelaron que dicho coeficiente varió entre los cinco modelos de aspersores evaluados. El modelo NDJ 5035 SD alcanzó el valor más alto, con un CUC de 93.07 % en una pendiente del 10 %, clasificación que, conforme a los criterios técnicos establecidos, corresponde a una uniformidad de riego entre buena y excelente. Por el contrario, el modelo VYR 35 presentó el valor más bajo, con un CUC de 68 % en una pendiente de 3.5 %, situándose entre las categorías de inaceptable a aceptable. Adicionalmente, se observó que el coeficiente de uniformidad varía en función de la pendiente del terreno, obteniéndose los mejores resultados en el 10 %, seguidos por pendientes del 23.54 % y del 3.5 %, lo cual se atribuye a condiciones simuladas más favorables en las inclinaciones mayores.

Flores (2020), en su tesis de pregrado titulada “Eficiencia de aplicación del aspersor VYR 60 en el método de riego presurizado en la comunidad de Saraica, distrito de Yanaca, provincia de Aymaraes, región Apurímac – 2020”, presentada en la Universidad Tecnológica de los Andes, tuvo como objetivo determinar la eficiencia de aplicación del aspersor VYR 60 en sistemas de riego presurizado. El estudio se llevó a cabo en la comunidad de Saraica, ubicada en el distrito de Yanaca, provincia de Aymaraes, región Apurímac. A partir del análisis estadístico de los datos obtenidos, se concluyó que la eficiencia de aplicación influye de manera significativa en el diseño agronómico, dado que la demanda bruta ajustada supera a la estimada con una eficiencia de aplicación estándar del 75 %, lo que implica la necesidad de un mayor volumen de agua para satisfacer los requerimientos hídricos del cultivo.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Sistema de riego en ladera

Un sistema de riego en ladera consta de edificaciones civiles y sistemas de agua que simplifican la recolección, traslado y distribución del agua con el fin de potenciar una zona agrícola de cultivo. (Calvache, 2012).

Los sistemas de riego de aspersión y goteo representan una opción tecnológica en la agricultura de terrenos de ladera, debido a su coste reducido de instalación, mantenimiento y sencillez en su funcionamiento. (Calvache, 2012).

En los sistemas de riego en laderas, comúnmente se emplea un ala de irrigación que se compone de uno o dos rociadores, cincuenta metros de manguera de polietileno con un diámetro de 40 pulgadas y un grosor de ½ pulgada o ¾ de pulgada. El ala se desplaza hasta que se logre la adecuada hidratación de todo el terreno.

El aspersor puede poseer una o dos boquillas, que son los orificios por los cuales fluye el chorro de agua a presión, que impacta el brazo y provoca la división del chorro en diminutas gotas de lluvia. (Calvache, 2012).

Los sistemas de riego por aspersión y goteo constituyen una alternativa tecnológica en el cultivo de terrenos de ladera, gracias a su costo reducido de instalación, mantenimiento y facilidad en su operación. (Calvache, 2012).

2.2.2 Topografía y relieve

Conforme al Anexo V del Reglamento sobre la Clasificación de Suelos según su Potencial de uso principal, ratificado por el Decreto Supremo N.º 0052022MIDAGRI, fechado el 24 de abril de 2022, del Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego – Perú, las tierras son clasificadas de la siguiente forma:

2.2.2.1 Pendiente

a) Pendientes cortas (laderas cortas):

Aquellas que no exceden los 50 m, evaluados desde el punto donde el agua comienza a fluir hasta el límite más bajo, su categorización se observa en la tabla 01.

b) Pendiente larga:

Se han considerado muchos más de 50 metros desde el punto en que el agua comienza a fluir hasta el punto de no poder llegar al final de un nivel inferior. Los rangos o clases pendientes que se muestran a continuación varían según la longitud de la pendiente; En la Tabla 01.

La clasificación de pendiente larga es más específica, aunque las pendientes largas son largas.

Tabla 1: *Clases de pendiente*

CLASES DE PENDIENTE			
Pendiente Corta (ladera corta)		Pendiente Larga (ladera larga)	
(%)	Denominación	(%)	Denominación
0 - 4	Plana a ligeramente inclinada	0 - 2	Plana o casi a nivel
4 - 8	Moderadamente inclinada	2 - 4	Ligeramente inclinada
8 - 15	Fuertemente inclinada	4 - 8	Moderadamente inclinada
15 - 25	Moderadamente empinada	8 - 15	Fuertemente inclinada
25 - 50	Empinada	15 - 25	Moderadamente empinada
50 - 75	Muy empinada	25 - 50	Empinada
> 75	Extremadamente empinada	50 - 75	Muy empinada
		> 75	Extremadamente empinada

Fuente: DS N.º 005-2022-MIDAGRI, 24 de abril de 2022, Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego.

2.2.2.2 Microtopografía o Microrelieve

Se refiere a las pequeñas diferencias en la elevación en distancias cortas (menos de diez metros) que influyen en el uso y la gestión de la tierra, determinando cuatro clases como se describe en la Tabla 2.

Tabla 2: Clases de microtopografía o microrelieve

CLASES DE MICROTOPOGRAFIA O MICRORELIEVE		
SÍMBOLO	CLASES	DESCRIPCIÓN
1	Plano	Ausencia de elevaciones y depresiones
2	Ondulado suave	Con elevaciones y depresiones muy espaciadas
3	Ondulado	Con elevaciones y depresiones de igual profundidad y ancho
4	Micro quebrado o micro accidentado	Con elevaciones y depresiones más profundas que anchas

Fuente: DS N.º 005-2022-MIDAGRI, 24 de abril de 2022, Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego.

2.2.3 *Agua en el suelo*

Según A. Florentino – Venesuelos (2006), es esencial entender el agua que fluye y se almacena en el suelo, por lo que resulta imprescindible cuantificarla de manera precisa y fiable. La evaluación del contenido de agua en el terreno ha representado un reto tecnológico significativo en las últimas décadas, generando una amplia gama de métodos y técnicas.

Principalmente, se han creado nuevos aparatos y sensores que facilitan la medición del contenido de agua en el espacio y el tiempo, sin modificar de manera significativa las condiciones hidrodinámicas del terreno.

Según Fuentes (2003), el agua es indispensable para que la planta viva y desarrolle, sus funciones más notables son las siguientes:

- Disuelve los componentes minerales que proporcionan nutrición a las plantas.
- Durante la fotosíntesis, el CO₂ del aire se combina para generar sustancias orgánicas.
- Actúa como medio para llevar los componentes minerales desde las raíces hasta las hojas, y las sustancias orgánicas producidas desde las hojas hasta los órganos donde deben ser empleadas o guardadas.
- Ofrece a los tejidos la consistencia requerida para que sean capaces de desempeñar sus roles.
- para disminuir su temperatura, ya que el agua al evaporarse absorbe gran cantidad de calor.

2.2.3.1 *El agua*

El agua es un producto natural raro que es útil y esencial para la vida, y su degradación puede ocurrir de una manera simple y rápida, por lo que debe protegerse en cualquier situación de deficiente. Si el agua del planeta cumple un ciclo, su uso lógico no es suficiente para enfrentar problemas en otras fases del ciclo, ya sea en el presente o en el porvenir. (FAO, 2013).

2.2.3.2 *Calidad de agua*

Según Carrazón (2007, Es esencial contar con un conocimiento aplicado sobre las características del agua empleada en el riego, su tratamiento y su relación con el tipo de cultivo, considerando tanto la naturaleza como la concentración de los componentes presentes, especialmente las sales disueltas. El uso de aguas salinas en la agricultura puede generar diversos problemas que afectan la eficiencia del riego y la productividad de los cultivos.

a) Salinización del suelo: La acumulación de sales disueltas en el agua de riego o ya presentes en el suelo disminuye la disponibilidad de agua útil para las plantas, lo que genera un estrés osmótico en los cultivos. Esta condición limita el crecimiento y desarrollo vegetal, afectando negativamente la productividad agrícola.

b) Problemas de infiltración de agua en el suelo: Una elevada concentración de sodio o una baja proporción de calcio en el agua de riego o en el suelo puede disminuir significativamente la tasa de infiltración. Esta condición impide una adecuada

penetración del agua en el perfil del suelo, dificultando el suministro hídrico necesario para el desarrollo óptimo de los cultivos.

c) **Toxicidad:** Existen sales que, al acumularse en gran cantidad, son tóxicas para los cultivos o provocan desbalances en la absorción de los nutrientes.

d) **Otros problemas:** Específicamente obstáculos en los conductos de riego y corrosión de las conducciones, pero también un exceso de nutrientes que disminuyen el rendimiento o la calidad, y acumulaciones de sales en frutas u hojas que impactan en el valor de venta. (Carrazón, 2007).

2.2.3.3 Clasificación de humedad en el suelo.

Las partículas de tierras constituyen una red de cavidades interconectadas entre ellas, que están disponibles en una gran variedad de tamaños y formas. Al proporcionar agua en un terreno seco, ya sea a través de la lluvia o mediante el riego, esta se reparte alrededor de las partículas y es retenida por las fuerzas de adhesión y cohesión; expulsa el aire de las cavidades y, al final, llena los poros. (Cisneros A. R., 2003).

Cisneros (2003), resume y engloba en términos de disponibilidad, los tipos de agua presentes en el suelo como:

a) Agua gravitacional.

El agua drenada por acción de la gravedad se desplaza a través del suelo, siendo este proceso más acelerado en suelos arenosos en comparación con suelos arcillosos. En la zona radicular, el agua disponible es mínima si se mantiene una adecuada aireación y/o cuando el flujo gravitacional disminuye, permitiendo que el agua retenga su utilidad para las plantas.

b) Punto de marchitez permanente (P.M.P).

El punto de marchitez permanente se define como el contenido de agua en el suelo correspondiente a una tensión aproximada de 15 atmósferas, momento en el cual las plantas son incapaces de absorber el agua suficiente para mantener su turgencia, lo que conduce a un marchitamiento irreversible. Este umbral varía según la especie vegetal, el volumen de agua consumido por el cultivo, la profundidad del sistema radicular y otros factores. Se considera que el agua presente en el suelo por debajo de este punto es inaccesible para las plantas, debido a las fuertes restricciones impuestas por las fuerzas de retención del suelo.

C) Capacidad de campo (c.c)

Se define como el porcentaje de humedad que permanece en el suelo a una tensión aproximada de $1/3$ de atmósfera, representando la cantidad máxima de agua que el terreno puede retener bajo condiciones de saturación, luego de haber permitido un drenaje libre. Independientemente del tipo de suelo, este proceso de drenaje libre suele durar entre uno y tres días tras la saturación.

c) **Agua disponible o humedad aprovechable**

Se denomina agua disponible para la planta a aquella fracción de humedad del suelo que puede ser absorbida por las raíces. Esta se define como la diferencia entre el contenido de humedad en capacidad de campo, es decir, el agua retenida a una tensión aproximada de 1/3 de atmósfera y el punto de marchitez permanente, que corresponde al nivel de humedad retenido a una tensión cercana a las 15 atmósferas.

2.2.3.4 Agua disponible para el cultivo

Es el agua que puede ser aprovechada por la planta y se define como la diferencia entre la humedad a capacidad de campo (retenida a una fuerza de 1/3 de atm) y el punto de marchitamiento permanente (humedad retenida a una fuerza de 15 atm aproximadamente) (Cisneros A. R., 2003).

De acuerdo con Fuentes (2003), el agua disponible (AD) para las plantas corresponde al volumen de agua contenido entre la capacidad de campo (CC) y el punto de marchitez permanente (PMP).

$$AD = CC - PMP \quad (1)$$

Donde:

AD = Agua disponible (%)

CC = Capacidad de campo (%)

PMP = Punto de marchitez permanente (%)

Tabla 3: Retención de agua del suelo por textura.

RETENCION DE AGUA			
TEXTURA	CC (%)	PMP (%)	H° Disponible (%)
Arcilloso	48	19	29
Arcillo – limoso	45	18	27
Franco – arcilloso	41	17	24
Franco – limoso	38	16	22
Limoso	36	15	21
Franco	31	13	18
Limo – arenoso	27	11	16
Arenoso – limoso	18	8	10
Franco – arenoso	16	7	9
Arenoso – franco	14	6	8
Arenoso	12	5	7

Fuente. Apuntes de la materia de riego y drenaje (Cisneros, 2003).

2.2.3.5 Tipos de fuentes de agua

Carrazón (2007), menciona que los tipos de fuentes de agua se clasifican en las siguientes:

a) Quebradas

Según Carrazón (2007), Es crucial para construir una quebrada para el riego asegurar su flujo continuo durante todo el año (quebrada permanente), y calcular la cantidad aproximada de agua al finalizar el verano. Los residentes del lugar responderán a la primera pregunta, mientras que para responder a la segunda será esencial realizar un

aforo. Asimismo, argumenta que no se puede extraer toda el agua de una quebrada para su cultivo, dado que es esencial permitir un flujo mínimo biológico, también denominado caudal ecológico (que promueve la vida de la fauna y flora en las aguas bajas).

b) Manantiales

Carrazón (2007), el manantial se define como un punto, área o sitio de la superficie del suelo, donde de forma natural se desprende o se aflora una cantidad específica de agua procedente de un acuífero. Del mismo modo que con los ríos o quebradas, será imprescindible aforarlos al concluir el verano para determinar el flujo mínimo fiable.

c) Pozos Superficiales

Un pozo superficial adecuado debe tener una profundidad considerable, con un mínimo de 2 metros desde la base del mismo, y una altura mínima de 1.5 metros de agua. Es imperativo que nos informemos debidamente, en colaboración con los residentes de la localidad, sobre la variabilidad del pozo a lo largo de todo el año.

Es importante recordar que nos permite el uso de bombas centrífugas bajo siete metros. (Carrazon, 2007)

d) Reservorios o estanques naturales

Es fundamental considerar en todo momento las pérdidas ocasionadas por la evaporación que se producen en el caso de los estanques.

Puede estimarse de manera aproximada el agua almacenada en pequeños estanques con la siguiente formula (conocida como la fórmula de sexto):

$$V = \frac{L \times T \times D}{6} \quad (2)$$

Donde:

V = Es el volumen de agua almacenada en metros cúbicos

L = La longitud de la línea de agua a lo largo del dique en metros

D = La profundidad del agua justo detrás del dique en metros

T = La distancia entre el dique y la cola del estanque también en metros. (Carrazon, 2007).

2.2.4 Relación suelo agua planta y atmosfera.

2.2.4.1 Evaporación

El proceso de evaporación se define como la transformación del agua en estado líquido a vapor de agua, un fenómeno también conocido como vaporización, así como su subsiguiente expulsión de la superficie que lleva a cabo dicha evaporación. Este proceso tiene lugar sobre diversas superficies, tales como ríos, lagos, vías, terrenos y vegetación que presenta humedad. Para llevar a cabo la conversión de las moléculas de agua de su estado líquido a vapor, es necesaria la intervención de energía. Esta energía es proporcionada tanto por la radiación solar directa como por la temperatura ambiental del aire. La fuerza que impulsa la evaporación del vapor de agua

desde una superficie se define por la diferencia entre la presión del vapor de agua en esa superficie y la presión del vapor presente en la atmósfera que la rodea. G. Allen, R. Pereira, L. Raes y M. Smith (2006) abordan este tema en su obra sobre la evapotranspiración del cultivo.

2.2.4.2 Transpiración

El proceso de transpiración consiste en la evaporación del agua líquida presente en el sistema continuo agua-suelo-planta, que ocurre desde las películas acuosas que cubren las células de las cámaras subestomáticas, desplazándose a través de las estomas hacia la fase gaseosa circundante a la hoja. Cuando existe un déficit en la saturación de vapor de agua en la atmósfera alrededor de la planta, se genera una evaporación constante del agua que recubre sus tejidos, lo que origina una demanda continua de agua por parte de la planta. No obstante, un exceso en la transpiración que no pueda ser compensado por un suministro hídrico adecuado conduce a la marchitez, caracterizada por la pérdida de turgencia celular y una considerable desaceleración en el metabolismo general de la planta. López, Y. (2000). Relaciones hídricas en el continuo agua-suelo-planta-atmósfera. Editorial UN.

2.2.4.3 Evapotranspiración

La evaporación y la transpiración se desarrollan de manera simultánea, lo que dificulta su diferenciación precisa. Más allá de la disponibilidad de agua en los horizontes superficiales del suelo, la evaporación en un terreno cultivado puede estimarse principalmente en función de la radiación solar que incide sobre su superficie. Esta incidencia disminuye progresivamente a lo largo del ciclo fenológico del cultivo,

conforme el desarrollo del follaje incrementa la sombra proyectada sobre el suelo. En las fases iniciales del cultivo, la mayor proporción del agua perdida corresponde a la evaporación directa desde el suelo; sin embargo, a medida que el dosel vegetal se cierra y cubre completamente la superficie, la transpiración pasa a ser el mecanismo dominante de pérdida de agua

Referencias: G. Allen, R. Pereira, L. Raes y M. Smith (2006). Evapotranspiración del cultivo.

2.2.4.4 Evapotranspiración de referencia (ET_o)

La ET se refiere a la velocidad de evapotranspiración de una cubierta vegetal de referencia en condiciones de crecimiento ideales y con un abastecimiento de agua apropiado; se asume que la cubierta vegetal de referencia tiene una altura de 0.12 m, una resistencia de superficie constante de 70 ms⁻¹ y un albedo de 0.23. (FAO, 2016).

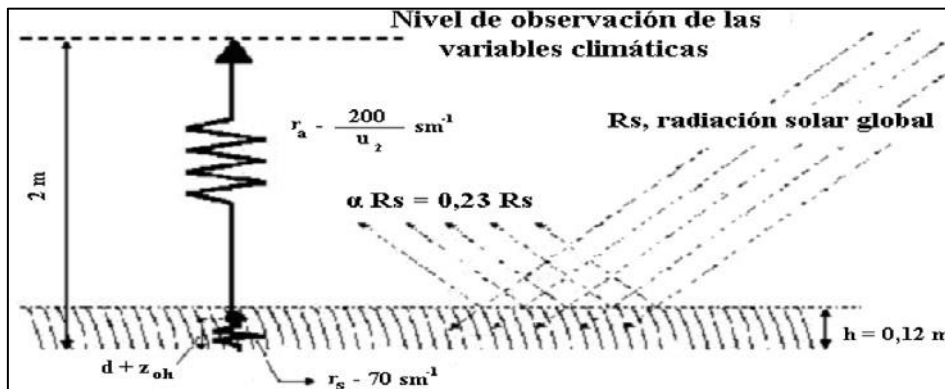


Figura 1. Nivel de observación de variables climáticas.

Fuente: Allen et al. (1998) citado por Santos et al. (2010)

2.2.4.5 *Evapotranspiración del cultivo (ET_c)*

Las necesidades hídricas del cultivo se definen como el volumen de agua requerido para compensar las pérdidas ocasionadas por la evapotranspiración. Aunque los valores asociados a la evapotranspiración y a la demanda hídrica pueden coincidir numéricamente, sus definiciones conceptuales difieren. La demanda de agua del cultivo hace referencia a la cantidad total de agua necesaria para su desarrollo, ya sea suministrada mediante riego o precipitación. En contraste, la evapotranspiración se refiere al volumen de agua que se pierde a través de los procesos combinados de evaporación y transpiración. En este contexto, el requerimiento de riego se determina como la diferencia entre la demanda total de agua del cultivo y la precipitación efectiva registrada Allen, R., S Pereira, L., Raes, D., & Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo.

2.2.4.6 *Determinación de la evapotranspiración de referencia (ET_o)*

La medición de la evapotranspiración representa un desafío complejo. Para su establecimiento de forma experimental, es imperativo contar con dispositivos especializados y realizar mediciones precisas de diversos parámetros físicos, así como el balance hídrico en lisímetros. Los métodos experimentales de campo tienden a ser costosos y requieren un alto grado de exactitud en las mediciones. Asimismo, su correcta ejecución y análisis solo pueden llevarse a cabo de manera adecuada por un equipo de investigación debidamente capacitado.

Aunque estos métodos no son adecuados para mediciones habituales, continúan siendo relevantes para la valoración de las estimaciones de ET logradas mediante otros procedimientos indirectos. G Allen, R., S Pereira, L., Raes, D., & Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo.

Evapotranspiración calculada con datos meteorológicos

Debido a las dificultades que implica obtener mediciones precisas de evapotranspiración (ET) en campo, esta variable suele estimarse a partir de datos meteorológicos. Para ello, se han desarrollado diversas ecuaciones empíricas y semiempíricas orientadas al cálculo de la evapotranspiración de referencia (ET_o) o del cultivo (ET_c), utilizando información climática. No obstante, algunos de estos métodos presentan limitaciones, ya que solo son aplicables bajo condiciones climáticas y agronómicas específicas, lo que restringe su validez fuera del contexto para el cual fueron diseñados. Diversos investigadores han evaluado el rendimiento de estos procedimientos en diferentes regiones. Como resultado de una consulta de expertos organizada en mayo de 1990, se estableció el método FAO Penman-Monteith como el procedimiento de referencia para la estimación de la evapotranspiración de referencia. A partir de este valor, la evapotranspiración del cultivo se calcula aplicando coeficientes de cultivo (K_c) definidos para condiciones estándar. En contextos no estándar, la ET_c puede ajustarse mediante la aplicación de un coeficiente de estrés hídrico (K_s) o la modificación de los valores de K_c. G Allen, R., S Pereira, L., Raes, D., & Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo.

2.2.4.7 Uso consuntivo

De acuerdo con la FAO (2021), el uso consuntivo del agua en el riego se entiende como el volumen requerido para compensar la diferencia entre la evapotranspiración potencial y la precipitación efectiva durante el ciclo del cultivo, además de considerar las variaciones en la humedad del suelo. Esta necesidad hídrica varía significativamente según las condiciones climáticas, la estación del año, el tipo de cultivo y las características del suelo. Para un mes específico, se puede estimar el balance hídrico del cultivo mediante una ecuación correspondiente.

$$URC = ET_c - (P + D_s)$$

Donde:

URC = uso consuntivo del agua de riego necesario para satisfacer la demanda del cultivo(mm).

ET_c = Evapotranspiración potencial del cultivo(mm)

P = Precipitación efectiva(mm)

DS = Variación de la humedad del suelo(mm)

2.2.5 Medición de agua de riego

La evaporación desde una superficie sin cobertura de agua constituye un indicador representativo del efecto combinado de factores climáticos como la radiación solar, la temperatura del aire, la humedad relativa y la velocidad del viento sobre el proceso de evapotranspiración. No obstante, las diferencias físicas y biológicas entre una superficie libre de agua y una superficie cultivada generan variaciones sustanciales en la cantidad de agua perdida. En este contexto, el empleo de tanques de evaporación ha resultado ser una herramienta práctica y eficaz, ampliamente utilizada para estimar la evapotranspiración

de referencia (ET_o). Este procedimiento se basa en la medición de la pérdida de agua por evaporación desde la superficie del tanque, la cual se ajusta mediante la aplicación de coeficientes empíricos que permiten establecer una relación proporcional con la ET_o. Allen, R. S. Pereira, L. Raes, D. y M. Smith (2006). Evapotranspiración del cultivo.

2.2.5.1 Método volumétrico

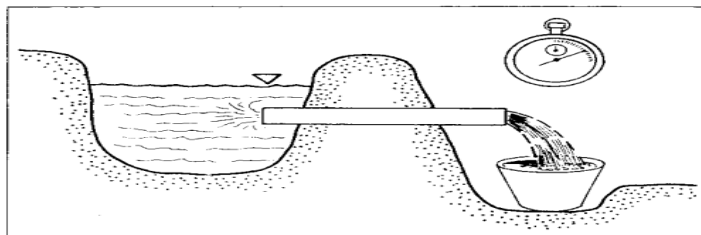
Este procedimiento se basa en el cálculo del tiempo necesario para llenar un recipiente de volumen específico. Al multiplicar la capacidad del balde, medida en litros, por el tiempo empleado, expresado en segundos, se obtiene el flujo en litros por segundo, tal como se detalla en la fórmula siguiente.

$\text{Caudal (lt/seg)} = \frac{\text{Volumen del balde (litros)}}{\text{Tiempo que demora en llenarse (seg)}}$

Este método, que consiste en recolectar la totalidad del agua en un balde u otro recipiente similar, es particularmente adecuado para la medición de caudales relativamente bajos. Su aplicación es común en la determinación del consumo de agua en dispositivos como sifones, cajas de distribución, surcos de riego, descargas de determinados aspersores y salidas de sistemas tipo californiano. (Varas, B. y Sandoval, H., 1991, Manual de riego). Este procedimiento es adecuado para la medición de caudales bajos, como los observados en surcos de riego o pequeñas acequias. Para su implementación, se requiere un recipiente de volumen conocido (por ejemplo, un balde), en el que se recolecta el flujo de

agua mientras se cronometra el tiempo necesario para llenarlo. La medición puede repetirse dos o tres veces, promediando los resultados obtenidos con el fin de mejorar la precisión. (Osorio, A., Mesa, F. y Salinas, R., 1994). *Cómo medir el agua de riego*.

Figura 2. Medición de caudales utilizando un balde y un cronometro.



Fuente: Osorio, A., Mesa, F., & Salinas, R. (1994). Como medir el agua de riego.

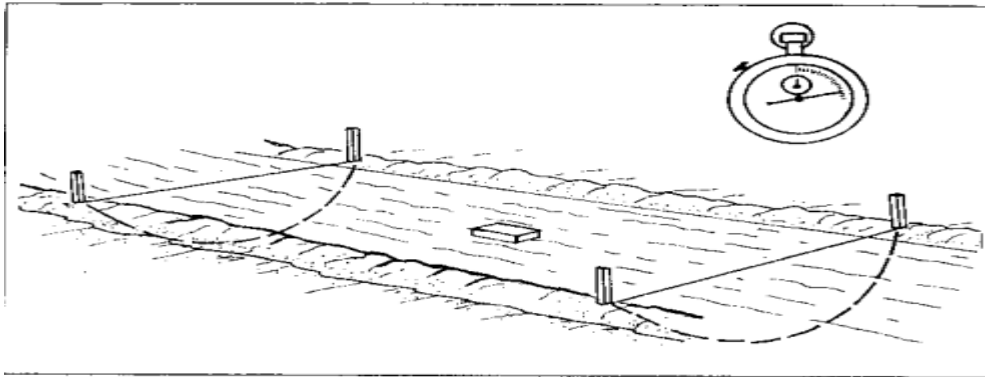
2.2.5.2 Método flotador

El método del flotador se utiliza para estimar caudales en canales y acequias, aunque su precisión es limitada, ya que proporciona únicamente valores aproximados. Debido a esta limitación, su empleo se restringe a situaciones en las que no se requiere alta exactitud, siendo necesario recurrir a técnicas más precisas cuando se requiere mayor confiabilidad en los datos.

Materiales y procedimiento: Se debe seleccionar un tramo recto del canal, con una sección transversal constante y una longitud cercana a los 30 metros, donde el flujo del agua ocurra de manera libre. Es recomendable demarcar la distancia en el terreno y registrar el tiempo que tarda un flotador en recorrerla, con el fin de determinar la velocidad del flujo. Como flotador se puede emplear cualquier objeto liviano que flote fácilmente, como trozos de madera, corcho u otros materiales similares, que presenten

poca resistencia al viento y puedan ser arrastrados sin dificultad por la corriente. Osorio, A., Mesa, F., & Salinas, R. (1994). Como medir el agua de riego.

Figura 3. Método del flotador.



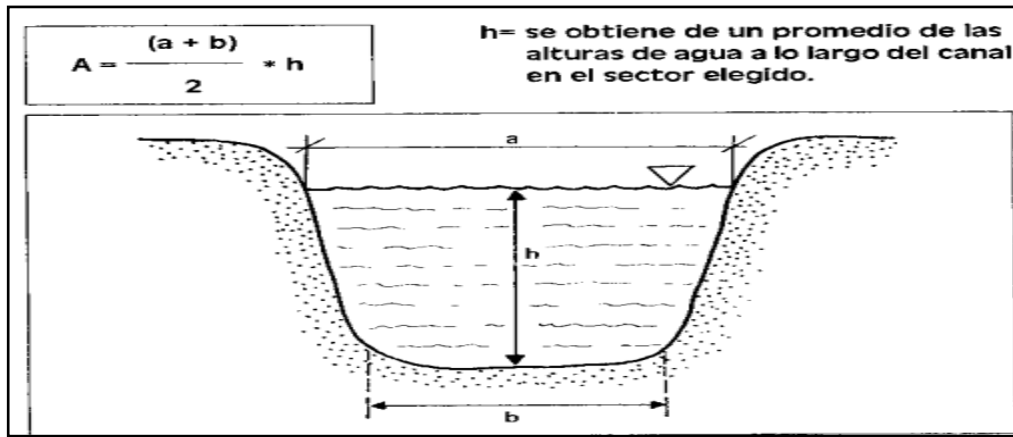
Fuente: Osorio, A., Mesa, F., & Salinas, R. (1994). Como medir el agua de riego.

Para determinar la velocidad del flujo de agua, se debe dividir la longitud del tramo seleccionado, expresada en metros, entre el tiempo, en segundos, que el flotador emplea en recorrer dicha distancia. Esta relación permite obtener la velocidad media del flujo en esa sección del canal.

$$V = \frac{\text{largo sección (m)}}{\text{tiempo en recorrerla (s)}} = (\text{m/s})$$

El paso siguiente implica calcular el área promedio del canal, es decir, su sección transversal. Para ello, se multiplica el ancho medio del canal por la profundidad promedio, considerando que ambas dimensiones deben expresarse en metros.

Figura 4. Área de un canal.



Fuente: Osorio, A., Mesa, F., & Salinas, R. (1994). Como medir el agua de riego.

Calculo del caudal.

Una vez obtenidos la velocidad del flujo y el área de la sección transversal del canal, se procede a estimar el caudal mediante la aplicación de la fórmula correspondiente, que relaciona ambas variables.

$$Q = A \times V \times 850 \quad (3)$$

Donde:

Q = caudal en l/s

A= Área del canal en m²

V= Velocidad en m/s

2.2.5.3 Aforador RBC

El Aforador RBC, fue desarrollado por Replogle, Bos y Clemmens (1984), constituye una de las mejores estructuras portátiles para la medición de caudales, su

funcionamiento se basa en la creación de condiciones para provocar un régimen de flujo crítico (Baca, 2013)

- ✓ Los pasos para su utilización son:
- ✓ Limpiar la solera del canal y regularizar las paredes del mismo aguas arribas del aforador (al menos de dos metros de distancia), en caso de ser necesario.
- ✓ Se debe introducir el combo en el aforador hasta que la base del mismo quede al nivel de la solera del canal, con el fin de evitar turbulencias que puedan interferir con la correcta lectura del flujo en la regla limnimétrica.
- ✓ Es fundamental manipular el aforador con precaución al momento de instalarlo para prevenir daños, asegurando que los impactos se realicen únicamente en los puntos indicados. En caso de dificultades durante la inserción, es preferible retirar el aforador, acondicionar nuevamente el sitio de aforo o, en última instancia, seleccionar una ubicación más adecuada.
- ✓ El aforador debe estar perfectamente nivelado tanto en dirección transversal como longitudinal, para lo cual se recomienda el uso de un nivel de albañil.
- ✓ Resulta indispensable impermeabilizar cuidadosamente los espacios entre los laterales del aforador y las paredes del canal para evitar filtraciones, utilizando para ello tierra y vegetación locales. En algunas circunstancias, puede ser necesario emplear plástico, aunque por lo general no se requiere impermeabilizar el fondo. Según Baca (2003), una vez instalado el aforador:
- ✓ Dejar que el flujo se establezca, usualmente entre 15 y 30 minutos.

✓ Comprobar visualmente que la liberación del aforador ocurra de manera correcta, libre, notando que el nivel de aguas bajas nunca exceda el nivel de aguas altas (por seguridad, un 50 %). En cambio, es aconsejable buscar un lugar más apropiado.

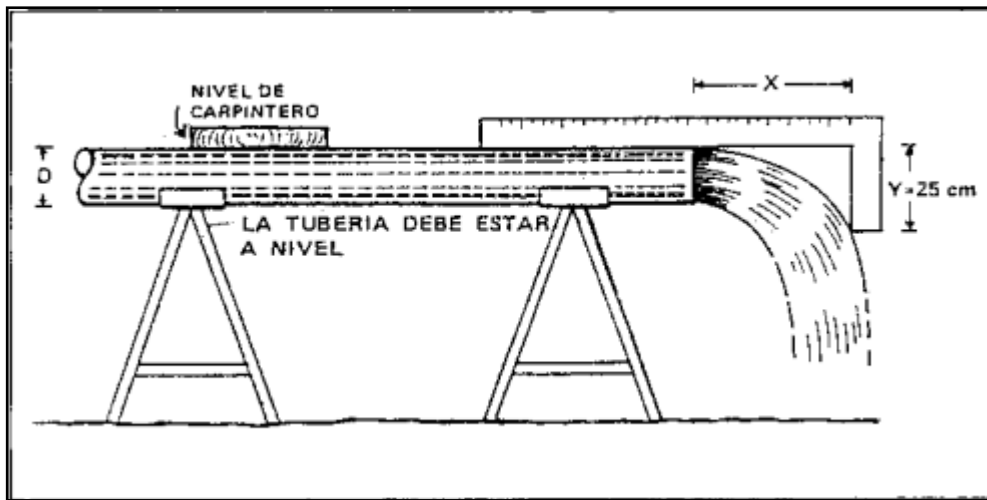
✓ Recoger la información del flujo de acuerdo a las mediciones realizadas en la regla del aforador (limnómetro) y el tiempo asociado a cada medición efectuada del caudal.

Para la medición de caudales también se utilizan algunas estructuras especialmente construidas, llamadas medidores o aforadores, cuyos diseños se basan en los principios hidráulicos de orificios, vertederos y secciones críticas (PSI, 2005).

2.2.5.3 Método de la trayectoria

Este método resulta altamente útil para la medición de caudales en tuberías y bombas, proporcionando una estimación razonablemente precisa cuando se aplica correctamente. Su principal ventaja radica en la simplicidad y rapidez de su operación. El procedimiento emplea una escuadra, conocida como tubo de nivel, cuya configuración se ilustra en la Figura 6. Es importante que uno de sus lados (Y) mida exactamente 25 cm para poder utilizar adecuadamente las tablas correspondientes. La medición se realiza desplazando la regla hasta que el extremo inferior (mango) toque el flujo de agua que sale del tubo. El lado X de la regla debe mantenerse paralelo al tubo para calcular la distancia horizontal desde el punto de impacto del chorro en la regla hasta la boca de salida de la tubería.

Figura 5. Medición de caudal en una tubería llena en posición horizontal.



Fuente: Osorio, A., Mesa, F., & Salinas, R. (1994). Como medir el agua de riego.

Los tubos deben ser horizontales.

No deben ocurrir curvas largas y el tubo está lleno de agua.

Es conveniente hacer diferentes lecturas a los resultados promedio y obtener una medida más cerca del flujo real.

Cuando la medición se realiza en la identificación horizontal x, se mide el diámetro interno del tubo.

Osorio, A., Mesa, F., & Salinas, R. (1994). Como medir el agua de riego.

2.2.5.4 Riego

El riego constituye un elemento fundamental para el desarrollo agrícola sostenible. La escasez de agua impone importantes limitaciones al avance agrícola,

especialmente en zonas áridas y semiáridas. En numerosas regiones del mundo, el incremento en la demanda hídrica para diversos usos ha provocado un aumento en los costos del agua y ha generado restricciones crecientes para su uso en la agricultura. Para enfrentar estos desafíos, resulta esencial incorporar y aplicar los avances científicos en ingeniería y tecnología relacionados con los sistemas de riego, que son los principales consumidores de agua. Esto debe considerarse tanto en el diseño y planificación de los sistemas como en su operación, mantenimiento y gestión a nivel de agricultura individual (Pereira, De Juan, Picornell, & Tarjuelo, 2010).

2.2.5.5 Planificación del riego por aspersión

La planificación del riego resulta fundamental para apoyar la toma de decisiones respecto a la cantidad de agua a aplicar. Su finalidad es optimizar el uso del recurso hídrico incorporado, así como maximizar el rendimiento del capital invertido, evitando la aplicación excesiva de agua, la cual puede generar consecuencias económicas y ambientales adversas (Pereira, De Juan, Picornell, & Tarjuelo, 2010).

2.2.5.6 Métodos de riego fundamentales

Losada (2000) señala que el riego implica aportar agua al suelo de tal forma que los vegetales reciban la cantidad de agua requerida, favoreciendo su crecimiento. Se utiliza en agricultura y horticultura. Existen los siguientes sistemas de riego agrícola:

- a) **Riego superficial o por gravedad:** El agua se distribuye sobre la superficie del terreno aprovechando la acción gravitacional, mediante estructuras como surcos, cabeceras, imágenes, terrazas, entre otros.

- b) **Riego por aspersión:** El agua se dispersa en forma de lluvia artificial a través de sistemas de pulverización especializados.
- c) **Riego por goteo:** El agua se suministra de manera localizada y precisa, gota a gota, directamente en la zona radicular de cada planta o árbol.
- d) **Riego subterráneo:** El suelo esta hidratado con un humectante colocado debajo de la fábrica de unos 40 – 45 cm.

También, se puede regar bajo tierra, controlando las tablas de agua, donde la humedad de la tierra se mantiene en los niveles deseados.

2.2.6 *Riego por aspersión*

“El riego por aspersión aparece a comienzos del siglo XX como una necesidad de incorporar nuevas áreas a la producción” (Cadena, 2016), debido a que no podían ser regadas con métodos tradicionales (inundación), ya sea por estar ubicadas en un nivel más elevado que la fuente de agua, con pendientes altas, o por ser parcelas con un relieve muy irregular (Cadena, 2016).

Según Calvache Ulloa (2012), en el riego por aspersión el agua es aplicada al cultivo en forma de lluvia, lo que no produce problemas de erosión, pudiendo regar terrenos dispares o con altas pendientes. El agua es conducida por tuberías de PVC o aluminio y es impulsada a presión; por lo tanto, se necesita un equipo de bombeo o carga hidráulica natural (Barrera, 1984).

Este método imita la lluvia, la densidad y la frecuencia, se puede elegir de acuerdo con la solicitud. En este método, el agua sale en forma de chorro bajo presión de dispositivos giratorios llamados aspersores (Cadena, 2016).

Este sistema de riego se puede emplear en la mayoría de las plantas, a excepción del arroz en el que el suelo está inundado y en el tomate riñón que es un cultivo muy sensible a la proliferación de plagas y enfermedades por la humedad atmosférica (Ducrocq, 1990). También puede adaptarse a la mayoría de las tierras sensibles a la tierra, porque hay boquillas en un grupo de bienes. Se adapta a la mayoría de las condiciones climáticas, a excepción de zonas con temperaturas extremadamente altas o con velocidades del viento considerables (Cadena, 2016).

Este método de riego constituye una alternativa válida para ser empleado en la sierra de nuestro país donde se puede aprovechar las diferencias de altura entre la fuente de agua y el terreno a regar para utilizarlo como fuente de energía (Cadena, 2016).

Según Luis Gurovich (1997), el método de riego óptimo se define como la técnica aplicada directamente sobre el suelo. La selección del método de riego está determinada por diversos factores, entre los que se incluyen:

- Las características del terreno y la configuración de las parcelas.
- Las propiedades físicas del suelo.
- El tipo y volumen de consumo de agua requerido.
- Las condiciones y costos del suministro de agua en la localidad.
- La calidad del agua destinada al riego.

- La disponibilidad de mano de obra.
- Los costos asociados al sistema, incluyendo inversión inicial, gestión, operación y mantenimiento.

Por otro lado, Holzapfel & Mariño (2008), mencionan que para una óptima selección de un método de riego se deben considerar los siguientes factores: disponibilidad de agua, tipo de suelo, topografía, clima, tipo de cultivo o huerto, disponibilidad y tipo de mano de obra, energía, y el costo relativo de cada recurso.

Ventajas:

- ✓ Un pequeño número de trabajo es necesario y menos calificado que el riego gravitacional, porque en el próximo caso, la reflexión, además de la gestión de recursos hídricos efectivos, debe pagarse permanentemente, permanentemente por riego.
- ✓ No hay una preparación previa para el suelo, tanto en suelo plano como ondulado. Al prevenir el asentamiento de la Tierra, se evita la pérdida de la fertilidad del suelo y, por otro lado, la mayor parte de la Tierra puede determinarse a cosechar canales y deshacerse de los canales y las reglas necesarias para el riego.
- ✓ Se puede usar en un grupo de tipos de suelo, incluso en especies muy fáciles de absorber, que requieren riego regular y no mucho. La efectividad del riego es del 80 %, en comparación con el 40-70 % del riego superficial.
- ✓ Hay una mayor mecanización para las plantas, porque se eliminan los obstáculos de riego de superficie.

- ✓ Con respecto al riego superficial, la pérdida de factores de fertilizantes debido a menos.
- ✓ El riego del riego se puede usar de manera efectiva en el control de heladas.
- ✓ También se puede utilizar para realizar fertilizantes y tratamientos de vegetales.

Desventajas del sistema

- ✓ El elevado costo inicial de instalación, que disminuye en proporción inversa al tamaño de la superficie de riego, junto con los costos operativos derivados del alto consumo energético necesario para mantener la presión del agua al momento de operar las boquillas, representan aspectos relevantes a considerar. No obstante, estos gastos pueden ser compensados mediante la reducción de otros costos asociados, como los relacionados con la nivelación del terreno y la construcción de caminos de acceso.
- ✓ En algunos cultivos y en varios días, la vegetación puede dañarse al aumentar las enfermedades codificantes en las plantas húmedas, o porque la fertilización es difícil cuando se riega durante la floración.
- ✓ El viento obstaculizó la distribución del agua de manera uniforme.
- ✓ Las salinas no pueden usarse en el follaje sensible, debido al riesgo de ardor hojas.
- ✓ Si el suelo es muy arcilloso o estúpido (pegajoso), puede ser difícil mover el dispositivo. Se necesita agua limpia (aunque no hay muchos problemas como el riego).
- ✓ Puede causar daño a las flores o problemas de enfermedad o reducir la calidad de la fruta.

- ✓ El agua de Salinas puede dañar las plantas.
- ✓ Excelente consumo de energía.

2.2.6.1 Componentes de los sistemas de aspersión

Con independencia de los múltiples casos particulares, los principales elementos de cualquier sistema de aspersión son:

a) Sistemas de bombeo

Establezca un conjunto de sala de succión, paja, motor, bomba, accesorios de aguas residuales, regulación de válvulas.

La unidad del motor es generalmente gasolina o diésel, pero hay opciones para usar electricidad, y el sistema de la bomba proporciona sistemas operativos precisos y el flujo de cada unidad de funcionamiento simultánea.

Su objetivo es aspirar el agua desde una fuente seleccionada, impulsarla por la red de tuberías hasta los emisores, donde la presión en sus boquillas debe ser la óptima de funcionamiento del aspersor. (Fuentes, 1999).

b) Tuberías de polietileno de alta densidad

El polietileno es un material flexible que tiene un elevado coeficiente de dilatación lineal (2×10^{-4}), en atención a que en su proceso de fabricación se agregan resinas que le confieren flexibilidad y resistencia, en su proceso de fabricación se añade un compuesto denominado negro de humo que evita la degradación de la luz solar, permitiendo su utilización en conducciones a la intemperie por un tiempo prolongado (Fuentes, 1999).

c) Tuberías de aluminio

Estos tubos están hechos de aleaciones de aluminio con magnesio o aluminio con manganeso, con un camino largo, un tubo brillante, un tiempo y antioxidantes mucho tiempo y un nivel asegurado, con una longitud de 3, 6, 9 y 12 metros, con diferentes medidas. Se utiliza fundamentalmente, en instalaciones de riego por aspersión, móvil y semifijo, su elevado costo, limita subutilización en sistemas de riego para cobertura total, sin embargo, en sistemas portátiles para pequeños productores, constituyen una excelente alternativa dada su resistencia y maniobrabilidad, (RAESA, 2014).

d) Aspersores

Aspersores o aparatos de aspersión (“sprinklers” en inglés) que pulverizan y proyectan el agua a la atmosfera. (Bernardo, 2008).

Son dispositivos de pulverización de agua en diferentes tamaños a través de la boquilla. En la agricultura se utilizan generalmente de tipo rotativos, donde el aspersor gira alrededor de su eje, lo que le permite regar la superficie de un círculo cuyo radio corresponde al alcance del chorro (Fuentes, 1999).

e) Accesorios

Dentro de los diferentes accesorios se encuentran las válvulas que permiten iniciar o interrumpir el riego dentro de un sector, manómetros para control de la presión, hidrantes, piezas especializadas destinadas a derivar, reducir los diámetros y los acoples correspondientes para completar la red hidráulica, cuyos laterales de riego llevan montados los aspersores, (Eljanani, 1974).

2.2.6.2 Tipos de sistemas de aspersión

Bernardo (2008), clasifica los sistemas de riego por aspersión, en convencionales y mecanizados, se detallan a continuación.

2.2.6.2.1 Sistemas convencionales

El primer sistema que Brigate Wáter Fountain y continúa utilizando hoy es el sistema que incluye un numero o más boquilla giratoria simultáneamente.

Estas fuentes de agua de rodillos generalmente funcionan a la presión promedio (2-4 atm) y las líneas de agua de hasta 300 metros (que son compatibles con los bordes del riego) y el ancho de 9 a 24 metros (es la separación de los bordes).

Normalmente el aspersor no va instalado directamente sobre el lateral, sino que va montado sobre un tubo porta aspersor, existiendo además en la conexión unaválvula, un pie (o estabilizador) y/o un soporte para el caso de la porta aspersores altos. (Bernardo, 2008).

Según Bernardo Pascual, los tipos de sistemas convencionales son:

- a)Sistemas móviles
- b)Sistemas fijos
- c)Sistemas semifijos.

a) Sistemas móviles

Los sistemas móviles son muy populares en muchas situaciones, tanto de suelos como de cultivos, su coste es relativamente bajo, pero exigen abundante mano de obra que en muchas ocasiones ha de trabajar en condiciones de suelo embarrado. Se utilizan fundamentalmente en el riego de pequeñas superficies. (Bernardo, 2008).

Todos los factores de instalación son móviles, y también puede ser el grupo Motobomba cuando se realiza un socket diferente en cada ubicación de riego.

Este sistema se usa solo en superficies pequeñas o para riego adicional.

(Fuentes, 1999)

b) Sistemas fijos

Cuando se dispone de suficientes laterales de riego y de aspersores para cubrir toda la superficie a regar no hay que realizar ningún traslado y por tanto se trata de un sistema fijo (Bernardo, 2008).

Según Fernández, los sistemas mantienen todos los factores que componen la instalación de propiedades. Son todo el sistema de seguro, ya que las fuentes se forman en toda la superficie. Se puede distinguir en:

Sistemas fijos permanentes

Estos son aquellos que mantienen todos sus elementos fijos durante el ciclo de vida útil, por lo que todos los tubos deben estar enterrados.

Requiere mucho cuidado y supervisión en las actividades de preparación del suelo y en la campaña agrícola para que las tuberías de riego no dañen. Están familiarizados con la jardinería.

Sistemas fijos temporales

Se instala al comienzo de la campaña de riego y finalmente significa que sus ramas y tubos están en el suelo. (Fernandez,2010)

c) Sistemas semifijos

Los sistemas semifijos pretenden combinar el bajo costo de las instalaciones móviles con las reducidas exigencias en mano de obra de las instalaciones fijas. En primer lugar, cabe distinguir entre sistemas con tuberías y sistemas con mangueras. (Bernardo, 2008).

Con tuberías:

De entre las múltiples posibilidades destacamos dos:

- ✓ Las caras de riego son móviles y todo lo que se mueve una vez encada situación lateral.
- ✓ Los laterales en los sistemas de riego fijo cuentan con un único aspersor por cada lateral, el cual debe ser desplazado manualmente a lo largo de dicho lateral.

Con mangueras

En este sistema los aspersores no van instalados directamente sobre el lateral de riego, sino que van montados en los extremos de unas mangueras (tuberías flexibles) que

parten precisamente de los puntos donde irían montado los aspersores en los laterales de riego. (Bernardo, 2008).

2.2.5.2.2 *Sistemas mecanizados*

Según Bernardo Pascual en riego por riego, ambas estructuras se endurecen al mismo tiempo con estructuras que transmiten materiales de riego solo entre las siguientes situaciones a menudo mecanizadas.

En la actualidad existen tres grupos de máquinas: torniquetes hidráulicos, enrolladores y alas de riego con desplazamiento (“laterales” y “pivotes”). (Bernardo, 2008).

De acuerdo con Macías et al. (2011), el cañón motorizado de riego está compuesto por un aspersor de amplio alcance y alto caudal (cañón), instalado sobre un carro o patín, y conectado al sistema de suministro de agua a través de una manguera. Este sistema emplea aspersores rotativos de gran tamaño, que operan bajo alta presión y generan gotas de agua de considerable tamaño

a) *Torniquete hidráulico*

También se conoce como una fuente enorme y "próspera", e incluye tubos o brazos donde las boquillas están dispuestas en la forma en que se fija la reacción de agua que dejan en el eje vertical.

Cada uno de los brazos puede tener una longitud de hasta 45 metros existiendo unos cables de acero que pueden tensarse o aflojarse, lo que permite levantar los brazos en posición de riego y bajarlos en el transporte y o en situaciones de viento fuerte.

b) Enrolladoras

Según Bernardo Pascual Los enrolladores o cañones arrastrados (“tracks” y “drum machines” en inglés) constan de dos partes fundamentales).

Un bastidor con ruedas, provisto de un cilindro o tambor, en el que se enrollará una tubería de polietileno (de sección y longitud variable según el modelo un cañón, es decir un aspersor rotativo de alta presión, el caño esta alimentado por la tubería de polietileno.

Una especie de carrito o trineo (provisto de ruedas) en el que está montado un cañón, es decir un aspersor rotativo de alta presión. El cañón estará alimentado por la tubería de polietileno. (Bernardo, 2008).

Figura 6. Cañón de riego tipo enrollador.



Fuente: (Frómeta et al. 2015)

c) Alas de riego con desplazamiento

Según Bernardo (2008), un primer paso en la mecanización del riego por aspersión consiste en la mecanización del transporte de las partes móviles, para el transporte de las tuberías y aspersores del almacén al campo y viceversa existen unos remolques especiales que arrastrados por el tractor facilitan esta tarea, pero el traslado de las tuberías de una posición a la siguiente dentro de la superficie a regar es otra cuestión, ya que el desplazamiento longitudinal de las tuberías no es lo más apropiado en la mayoría de las ocasiones, se han ensayado otras soluciones como el desplazamiento transversal y el desplazamiento circular.

Ala de riego sobre rueda

Se conoce también como ala de riego rodante (“Wheel-line sprinkler” y “side roll lateral system” en inglés). En este sistema el lateral de riego, la tubería porta aspersores, hace de eje de una serie de ruedas. De 2 a 3 m de diámetro, y llevan instalados los aspersores con unos contrapesos para mantenerlos verticales, pues en caso contrario cuando se realiza el desplazamiento y gira la tubería los aspersores no quedarían necesariamente en posición vertical. (Fernández, 2010).

Sistema de pivote

Según Macías et al. (2011), este sistema de riego consiste en un ramal con un extremo fijo, a través del cual se suministra agua y energía eléctrica, y otro extremo móvil que gira describiendo un círculo en torno al punto fijo. El funcionamiento del sistema se basa en el desplazamiento de una tubería portadora de emisores, sostenida por torres automotrices equipadas con motores eléctricos y ruedas neumáticas. Habitualmente,

estos sistemas están diseñados para regar un círculo completo, aunque también pueden configurarse para operar en semicírculo.

2.2.6.3 Distribución del agua

El proceso de distribución del agua es aplicado por cada fuente desigual a través de la superficie, pero la cantidad de cambios de agua en cada ubicación que cambia según la distancia de los escudos, en general, el área más cercana con la fuente de agua recibe más agua, lo que reduce 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. (Fernández, 2010).

Factores que afectan la distribución de agua

Condiciones climáticas.

En la dirección de la velocidad y el viento (contraste y valor absoluto).

Evaporación, dependiendo de la energía solar, el movimiento del aire, la temperatura y la humedad.

Condiciones grupales

Modelo de marca y pulverización: Composición interna, velocidad de rotación, alternativa y distancia entre agujeros.

El tamaño del orificio del escape.

La altura del elevador.

Condiciones hidráulicas de riego.

Cisneros (2003).

2.2.6 *Aspersores*

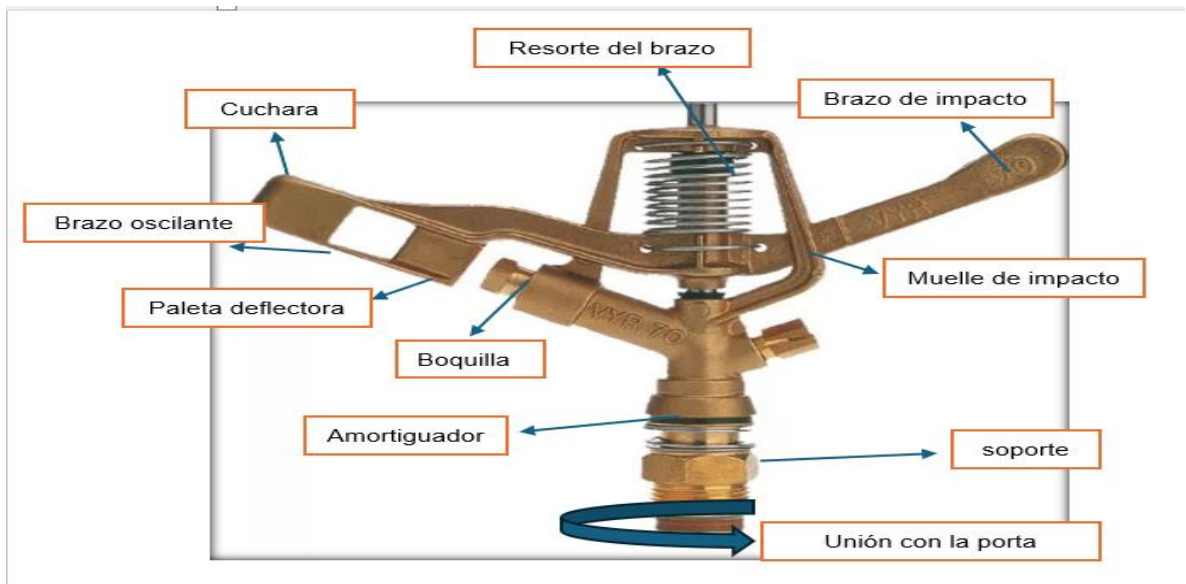
Los dispositivos de aspersión tienen la función de pulverizar el chorro de agua en gotas finas y repartirlas uniformemente por el terreno. (Fuentes, 1999).

Los aspersores o aparatos de aspersión son posiblemente los elementos más importantes de los sistemas de riego por aspersión, pues son los encargados de aportar el agua sobre el suelo (o follaje) a un ritmo tal que este pueda absorberla sin producirse escorrentía y consiguiendo una elevada uniformidad. (Bernardo, 2008).

Según Fernández, las fuentes constituyen elementos clave en la regulación del riego, ya que son responsables de distribuir el agua en forma de precipitación sobre la superficie del suelo. Estos dispositivos están provistos de una o más boquillas, las cuales se encuentran integradas en un cuerpo principal que permite el paso y la conducción del flujo hídrico. El movimiento de pulverización para el riego se debe a la presión del agua, cuando se deja, se dispersa en forma de gotas, húmeda una superficie más o menos redonda, con la velocidad de flujo dependiendo de la presión del agua y el agua espolvoreada.

La distribución del agua sobre la superficie regada por un aspersor no es uniforme, por lo que para conseguir la mayor uniformidad posible han de disponerse los aspersores lo suficientemente próximos entre sí de tal forma que se produzca un solape entre ellos. (Fernández, 2010).

Figura 7.Partes de un aspersor



Fuente: Elaboración propia

2.2.7.1 Clases de aspersores:

De acuerdo a Fuentes (1999), pueden ser de varias clases:

2.2.7.1.1 Tuberías perforadas:

De acuerdo con Fuentes (1999), los tubos perforados son conductos fabricados en metal o PVC, los cuales presentan orificios calibrados o pequeñas boquillas ubicadas en su parte superior y distribuidas regularmente cada 10 a 15 centímetros a lo largo de su extensión. Estos sistemas pueden ser estáticos o incorporar mecanismos de movimiento impulsados por motores hidráulicos o eléctricos. Su función es irrigar franjas de terreno que abarcan entre 5 y 15 centímetros, operando con baja presión, lo que restringe su uso principalmente a cultivos hortícolas y ornamentales.

2.2.7.1.2 *Aspersores no giratorios*

El aspersor giratorio, a menudo utilizado en la agricultura, se compone con una o más salidas equipadas con boquillas ajustables, el diámetro varía de 2 a 20 mm.

El aspersor gira alrededor de su eje, lo que le permite regar la superficie de un círculo cuyo radio corresponde al alcance del chorro. (Fuentes, 1999).

Según Fuentes (1999), la clasificación de los aspersores por el mecanismo que produce al momento de girar es como sigue:

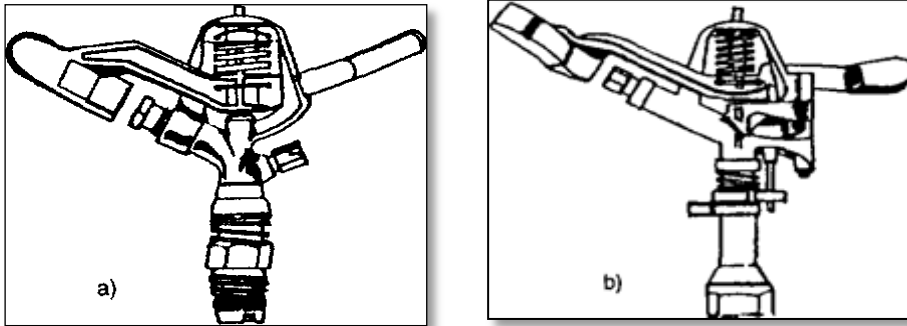
d) *Aspersores de brazo oscilante*

La propagación del cuerpo con una comida se explica a partir de un viaje periódico causado por una corriente de agua, cayendo periódicamente a la mano oscilante, volviendo a su posición original de acuerdo con la acción de la primavera o el contrapeso y estos aspersores son lentos.

Los aspersores de brazo oscilante son los más empleados, con una extensa variedad de modelos disponibles en el mercado, que van desde aspersores de tamaño reducido con una única boquilla hasta aspersores de gran tamaño con múltiples boquillas.

Algunos aspersores tienen un dispositivo que limita el área regada a un sector circular (aspersores sectoriales) y se utilizan en los linderos, junto a caminos y en los ángulos de las parcelas, con el fin de evitar el riego de áreas exteriores a la parcela. (Fuentes, 1999).

Figura 8. Aspersores de brazo oscilante.



a) De círculo completo

b) de círculo parcial o sectorial

Fuente: (Fuentes, 1999)

b) Aspersor de reacción

Están basados en el molinete hidráulico, en donde la reacción a la salida del agua provoca el movimiento de giro del aspersor, la boquilla o boquillas están orientadas de forma que la reacción al cambio de dirección en el movimiento del agua provoque el movimiento de rotación. Estos aparatos son de giro rápido. Se utilizan en jardinería y en riego de árboles bajo las copas. (Fuentes, Técnicas de riego, 1999).

c) Aspersor de turbina

Según Fuentes (1999), en este tipo de aspersores el flujo de agua incide sobre una turbina —una rueda provista de aspas— cuya rotación se transmite a un eje dispuesto a lo largo del tubo del aspersor. Esta energía mecánica se transfiere mediante un sistema de engranajes a la base del dispositivo, permitiendo así un movimiento rotatorio uniforme y lento. Por lo general, estos aspersores son de grandes dimensiones y están diseñados para suministrar caudales elevados.

Según Cisneros (2003), los aspersores se clasifican en las siguientes.

Aspersores rotativos

a) Aspersores de rotación rápida:

Empleados principalmente en áreas de césped, operan con presiones comprendidas entre 1 y 2 kg/cm², con caudales que varían entre 0,03 y 0,6 litros por segundo, y alcanzan diámetros de cobertura que oscilan entre 3 y 10 metros.

b) Aspersores de rotación lenta:

Equipados con una o dos boquillas, funcionan con presiones entre 1,4 y 4,2 kg/cm², presentan un consumo de aproximadamente 0,3 litros por segundo y generan una cobertura de riego cercana a los 25 metros de diámetro.

c) Aspersores de alta presión y caudal elevado:

Conocidos como cañones de riego, operan bajo presiones de 5,6 a 8,5 kg/cm², alcanzan caudales de entre 5 y 6,3 litros por segundo, y proporcionan un alcance de mojado de hasta 190 metros.

d) Aspersores de presión moderada con una o dos boquillas:

Funcionan con presiones que van de 2 a 5,6 kg/cm² y caudales entre 0,2 y 6 litros por segundo. Son los más comúnmente utilizados y abarcan un área de riego aproximada de 30 metros de diámetro.

Aspersores fijos

a) Aspersores para jardines residenciales:

Funcionan con presiones comprendidas entre 1,1 y 2,2 kg/cm², presentan caudales que varían entre 0,05 y 0,4 litros por segundo, y su cobertura de riego alcanza un diámetro aproximado de 30 metros.

b) Sistema de microaspersión:

Este tipo de aspersión requiere el uso de filtros y opera con presiones que van desde 0,7 hasta 1,75 kg/cm². Sus caudales fluctúan entre 0,8 y 180 litros por minuto, y el área de cobertura varía entre 1,3 y 6,7 metros de diámetro (Cisneros, 2003).

Según la presión de trabajo los aspersores se clasifican en:

De baja presión:

Son los de impacto los más comunes, que generalmente operan a presiones inferiores a 2.5 kg/cm² (“kilos”). Normalmente poseen una única boquilla con un diámetro de salida que no supera los 4 milímetros, y producen un flujo que no supera los 1 lt/hora.

Aspersores de presión media:

Estos dispositivos funcionan con presiones que varían entre 2,5 y 4 kg/cm². Generalmente están equipados con una o dos boquillas cuyo diámetro se sitúa entre 4 y 7 milímetros, permitiendo caudales que oscilan entre 1 y 6 litros por hora. Su uso es habitual en configuraciones espaciales que van desde 12 x 12 metros hasta 24 x 24 metros, lo que indica que el alcance del aspersor puede variar entre 12 y 24 metros.

Aspersores de alta presión:

Este tipo de aspersores requiere presiones superiores a 4 kg/cm² para su funcionamiento. Por lo general, son equipos de gran tamaño, conocidos también como cañones, y pueden estar dotados de una, dos o incluso tres boquillas.

El flujo del aspersor puede oscilar entre 6 y 40 litros por hora, aunque los cañones de gran tamaño pueden alcanzar los 200 litros por hora, (Fernandez, 2010).

2.2.7.2 Factores que influyen en el funcionamiento de los aspersores

2.2.7.2.1 Factores climáticos

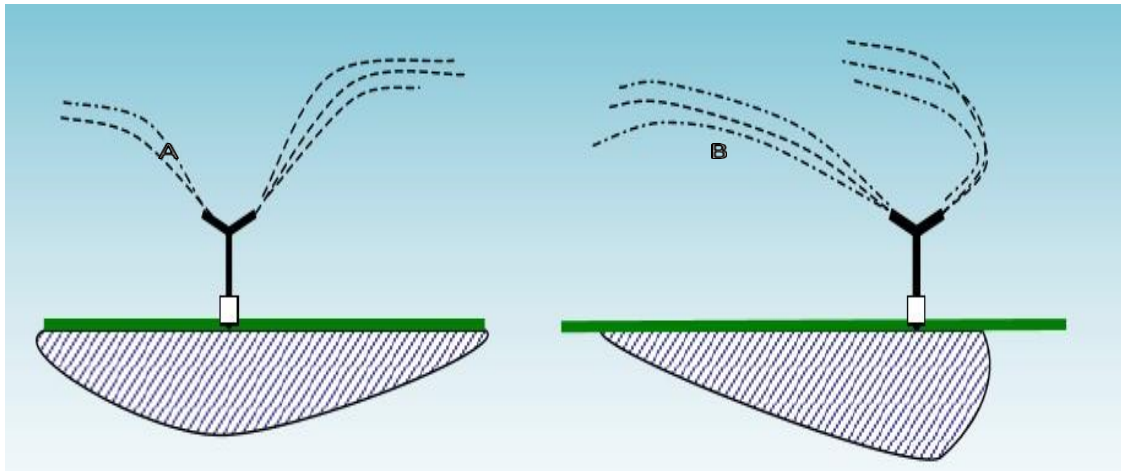
a) viento

El viento influye significativamente en el patrón de distribución del agua emitida por los aspersores, y el grado de esta alteración depende principalmente de la velocidad del viento y del tamaño de las gotas. A velocidades más elevadas del viento, se incrementa la distorsión del patrón de riego; asimismo, gotas de menor tamaño son más susceptibles a ser desviadas por la acción del viento, lo que reduce la uniformidad de la aplicación del agua.

Es recomendable regar durante las horas de vientos menos fuertes (usualmente en la noche) o cuando su velocidad es inferior a 2 m/s. Si esto no es posible se instalan aspersores de poco alcance y baja o mediana presión, para que no haya una excesiva pulverización, el riego de frutales con porta-aspersores altos solo se hará si existen barreras rompe vientos. (Fuentes, 1999).

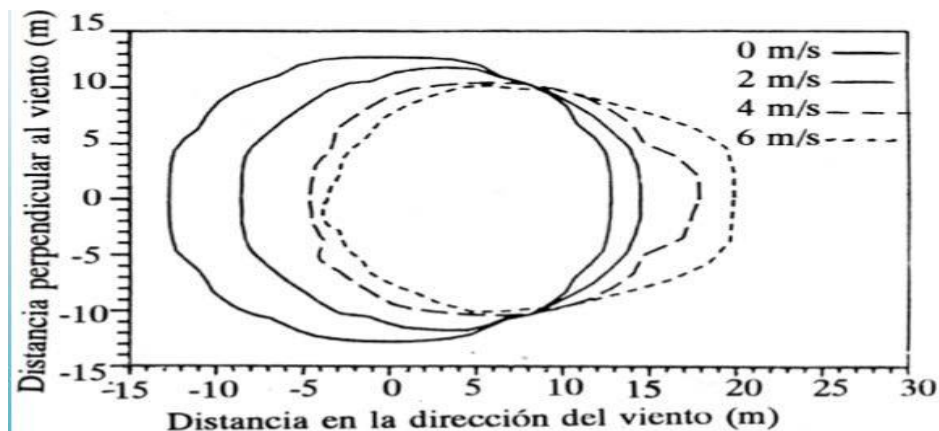
Figura 9. Modelo de reparto de un aspersor funcionando en ausencia del viento

(A) y presencia del viento (B) y su efecto en el humedecimiento del suelo.



Fuente: (Tarjuelo M. B., 2010)

Figura 10. Efecto del viento sobre el modelo de reparto



Fuente: (Tarjuelo M. B., 2010)

De acuerdo con Tarjuelo (2010), la clasificación de la velocidad del viento se establece en función de su intensidad, como sigue: viento suave cuando es igual o inferior a 1 m/s;

viento de intensidad suave a moderada entre 1 y 3 m/s; viento de intensidad moderada a fuerte entre 3 y 5 m/s; y finalmente, se considera viento fuerte cuando su velocidad es igual o superior a 5 m/s.

b) temperatura

Las temperaturas altas acentúan las pérdidas por evaporación, especialmente si los chorros de agua son muy pulverizados, para evitar estos efectos negativos conviene utilizar aspersores de baja o mediana presión, con boquillas de mayor diámetro. (Fuentes, 1999).

2.2.7.2.2 Factores agronómicos

a. Topografía

En terrenos con topografía irregular, no se aconseja el empleo de aspersores de baja presión, ya que dificultan el cumplimiento del criterio técnico que establece que la pérdida de carga entre aspersores ubicados en una misma línea de riego no debe superar el 20% de la presión de operación, salvo que se utilicen líneas de riego considerablemente cortas. Asimismo, en zonas con pendientes acentuadas, el movimiento del agua se ve favorecido, por lo que se sugiere aplicar tasas de precipitación más bajas en comparación con terrenos planos.

b. Suelo

La rapidez con que el agua se infiltra en el terreno restringe la pluviometría. Las gotas de gran grosor causan la compactación de ciertos terrenos, lo que reduce la velocidad de infiltración. Por ello, se recomienda una lluvia suave en los suelos con condiciones de estabilidad deficientes. En suelos de textura fina, si la velocidad de giro del aspersor es demasiado baja, las largas fases sinriego entre dos pasadas consecutivas pueden provocar el deterioro de la estructura superficial.

a. Cultivo

La especie vegetal, su estructura foliar y el grado de cobertura sobre el terreno son factores determinantes para seleccionar el tipo de instalación de riego. Cultivos especialmente sensibles, tales como flores y ciertas hortalizas, demandan bajas tasas de precipitación acompañadas de una pulverización fina y una alta uniformidad en la distribución del agua, lo que implica una menor distancia entre aspersores. En cambio, para cultivos de mayor altura y porte, como el maíz y el girasol, se recomienda la aplicación de riegos con tasas de precipitación medias o elevadas.

2.2.7.2.3 Factores técnicos

a. Boquillas

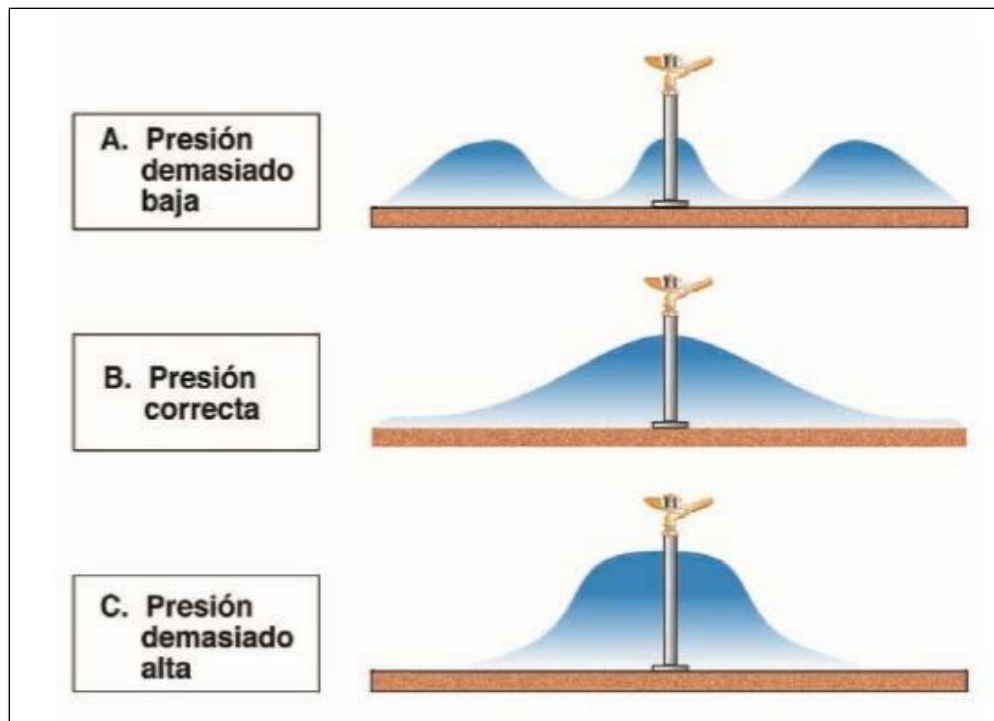
El tipo y tamaño de las boquillas determinan el patrón de distribución del aspersor. Frecuentemente, el aspersor cuenta con dos boquillas que cumplen funciones diferenciadas y complementarias: una se encarga de distribuir el agua en el borde del área mojada, mientras que la otra se sitúa cerca del aspersor para cubrir la zona próxima. Cuando el aspersor posee una sola boquilla, generalmente corresponde a dispositivos de

baja presión y alcance reducido, y dicha boquilla debe realizar ambas funciones simultáneamente (Fuentes, 1999).

b. presión

Según Fuentes (1999), cada aspersor está diseñado para operar dentro de un rango específico de presiones, en el cual la distribución del agua sigue un patrón típico. Cuando la presión disminuye, el flujo de agua se fragmenta en gotas más grandes y, si la reducción es considerable, la precipitación se concentra en dos anillos concéntricos: uno cercano al aspersor y otro en el borde del área mojada. Por el contrario, cuando la presión es excesivamente alta, se produce una pulverización intensa que reduce el alcance del chorro y provoca una acumulación excesiva de agua en la zona inmediata al aspersor.

Figura 11. Efecto de diferentes presiones sobre el modelo de reparto del aspersor.



Fuente: (Fernández, 2010).

2.2.7.2.4 Factores Prácticos

En términos generales se pueden tomar las siguientes recomendaciones:

- El fabricante debe proporcionar la información del comportamiento real, en cualquier contexto de riego, del aspersor seleccionado.
- Cuando sea viable, realizar riego nocturno, por las razones siguientes:
el viento es más leve y se producen menos pérdidas a causa de la evaporación.
Posee el problema de que requiere cierto nivel de automatización.

- Es importante que la pluviometría sea baja (5 - 7 mm/hora), para contrarrestar las distorsiones provocadas por el viento, dado que las posiciones de riego se mantienen más tiempo.
- La irrigación se lleva a cabo utilizando bloques de riego, dado que la reducción de los bordes en la zona irrigada permite alcanzar una mayor uniformidad en la distribución del agua y minimizar las pérdidas ocasionadas por la evaporación. Utilizar aspersores de baja presión (menor a 2 kg/cm²) en marcos pequeños (con separación entre aspersores inferior o igual a 12 o 15 metros), para cultivos frágiles (jardinería, hortalizas), para riego de frutales por debajo de las capas de los árboles o en zonas de mucho viento.
- Utilizar aspersores de mediana presión (de 2 a 4 kg/cm²), con dos boquillas; en marcos medianos 12 x 12 m a 24 X 24 m) para gran variedad de cultivos extensivos e intensivos. En aspersores con 2 boquillas conviene utilizar una vaina prolongadora del chorro (que lo hace más compacto) en la boquilla de mayor diámetro cuando la velocidad del viento es mayor de 2 m/segundo.
- Utilizar cañones de riego para riegos de auxilio en cultivos poco frágiles y vientos poco intensos.
- En marcos rectangulares (como 12 X 18 m) es más recomendable que el menor espaciamiento sea paralelo a la dirección del viento cuando se utilizan aspersores de una boquilla. Con aspersores de 2 boquillas es más recomendable que el mayor espaciamiento sea paralelo a la dirección del viento, aunque esto suele tener poca influencia si la boquilla más grande lleva vaina prolongadora. (Fuentes, 1999).

2.2.7.3 Características del aspersor VYR 35

Características generales:

- Aspersor de impacto agrícola diseñado para caudales medios.
- Conexión macho o hembra de 3/4”.
- Fabricado con materiales duraderos como latón y acero inoxidable.
- Juntas de rotación con alta resistencia.
- Boquillas con ángulos de 26°.
- Diseñado para sistemas de riego por cobertura, adaptándose a los espaciamientos estándar más comunes en el mercado.
- Reconocido como un aspersor líder en el sector agrícola.

Especificaciones técnicas:

- Alcance: entre 13 y 18 metros.
- Caudal: de 660 a 3270 litros por hora.
- Presión de operación: entre 1,75 y 4,5 BAR.
- Sector de cobertura: circular.
- Boquillas: consta de dos boquillas, una principal y otra secundaria que actúa como deflectora o tapón.
- Ángulos de trayectoria: ambos de 26°.
- Altura máxima del chorro: 2,4 metros.

- Tiempo de rotación: varía según la presión y tipo de boquillas, siendo generalmente uniforme y continuo.
- Coeficiente de uniformidad: superior al 90% en configuraciones de marco 18x18R, 19x19T y 19x20T.

Aplicaciones:

Este modelo presenta una alta versatilidad, siendo adecuado para diversos tipos de cultivos y compatible con un amplio rango de condiciones pluviométricas y espaciamientos, lo que lo hace apto para múltiples cultivos como hortícolas, cereales, tubérculos, leguminosas y frutales.

Dimensiones:

- Altura: 14 cm.
- Ancho: 17 cm.
- Peso: 430 gramos.
- Cantidad por caja: 50 unidades.

Opciones disponibles:

- Capucha antiheladas con conexión.
- Boquillas fabricadas en latón o plástico, según las especificaciones técnicas del cliente.
- Boquilla secundaria equipada con ranura deflectora o tapón.

- Posibilidad de montaje sobre regulador de presión para la auto compensación tanto de presión como de caudal (VYRSA, 2008).

Figura 12. Aspersor VYR 35.



Fuente: Catalogo (VYRSA, 2008).

2.2.7.4 Características del aspersor F-30 sectorial.

Características Generales

Aplicación

Este aspersor resulta especialmente adecuado para aplicaciones agrícolas con caudales medios, en particular para sistemas de tuberías móviles. Puede ser equipado con una o dos boquillas, y se recomienda para agricultores que buscan un producto robusto y duradero, capaz de minimizar la evaporación y el efecto del viento gracias a su ángulo de proyección del flujo de agua. Además, existe la opción de solicitar un cojinete con rosca

hembra integrado al cuerpo del aspersor, lo cual contribuye a optimizar el uso de

Ventajas:

El aspersor está fabricado en latón, lo que garantiza una amplia zona de impacto tanto en el cuerpo como en el brazo, aumentando su durabilidad. Su brazo contrapesado permite una rotación más constante y uniforme. Puede ser equipado con una o dos boquillas, y se dispone de tres tipos diferentes de vainas para la guía del agua, lo que facilita ajustar el equilibrio entre alcance y pulverización según la presión del agua disponible.

Especificaciones técnicas:

- Aspersor de impacto de cobertura circular completa.
- Rosca macho o hembra de $\frac{3}{4}$ " (modelo F30F).
- Cuenta con dos boquillas: principal y secundaria.
- Ángulo de trayectoria de las boquillas: 25°.
- Rango de presión de operación: 1.38 a 5.52 Bar.
- Tamaño de boquillas: entre $\frac{9}{64}$ " y $\frac{7}{32}$ ".
- Cuerpo, brazo y conjunto giratorio fabricados en latón.
- Eje del brazo y muelles de acero inoxidable.
- Eje del brazo con diámetro expandido en su extremo superior para una mejor fijación al cuerpo.

- Boquillas fabricadas en resina acetálica antiabrasiva, codificadas por color y con medidas grabadas en milímetros y pulgadas para una identificación clara. Opcionalmente, se ofrecen boquillas de latón grabadas.
- Retén anti-rotación entre el cuerpo del aspersor y el muelle de compresión.

Figura 13. Aspersor F30



Fuente: Catalogo (UNIRAIN, 2023)

2.2.7.5 Características de aspersor VYR 70

Figura 14. Aspersor VYR 70



Fuente: Catalogo (VYRSA, 2008).

Características generales:

- Aspersor de impacto agrícola diseñado para caudales medios.
- Conexión disponible en formato macho o hembra de 3/4”.
- Construido en latón y acero inoxidable.
- Equipado con juntas de rotación de alta resistencia.
- Ángulos de boquillas de 26° y 22°.
- Diseño especial para lograr un largo alcance.
- Indicadamente utilizado en sistemas de riego de cobertura con caudales medio-altos.

Especificaciones técnicas:

- Alcance operativo entre 13 y 18 metros.
- Caudal de operación entre 620 y 3360 litros por hora.
- Presión de trabajo comprendida entre 1.75 y 4.5 BAR.
- Sector de riego de cobertura circular.
- Dos boquillas: una principal y otra secundaria, que puede ser deflectora o tapón.
- Ángulos de trayectoria de las boquillas de 26° y 22°.
- Altura máxima del chorro de agua: 2.6 metros.
- Tiempo de rotación uniforme y continuo, dependiendo de la presión y las boquillas empleadas.
- Coeficiente de uniformidad superior al 90 % en marcos de riego 18x18R, 18x20T y 18x18T.

Aplicaciones:

- Adecuado para plantaciones hortícolas, cultivos de cereales, tuberosos, leguminosas y frutales.
- Utilizado en general para riegos agrícolas que requieren caudales medios a altos.

Dimensiones:

- Altura: 15 cm.
- Ancho: 20 cm.

- Peso: 548 gramos.
- Cantidad por caja: 50 unidades.

Opciones disponibles:

- Boquilla secundaria con ranura deflectora o tapón.
- Posibilidad de montaje con regulador de presión para autocompensación tanto de presión como de caudal. (VYRSA, 2008).

2.2.7.6 Caudal de los aspersores

El caudal de agua emitido por un aspersor está determinado por el tamaño de sus boquillas y la presión aplicada en las mismas. Este caudal se describe mediante la curva característica o la ecuación de descarga del aspersor (Fuentes, 1999):

$$q = kh^x \quad (4)$$

Donde:

Q = Caudal emitido, en litros/hora.

H = Presión en las boquillas, en mca.

k y x = Constantes características del aspersor.

2.2.7.7 Pulverización:

De acuerdo con Fuentes, el nivel de pulverización cambia en función de los siguientes factores.

Las gotas incrementan de tamaño conforme se alejan del aspersor.

El tamaño de las gotas se incrementa, manteniendo las mismas condiciones, al aumentar el diámetro de la boquilla.

El tamaño de las gotas aumenta a medida que disminuye la presión de operación. Las gotas de mayor tamaño pueden resultar perjudiciales para cultivos sensibles, como los florales y hortícolas, debido al impacto que generan. Además, estas gotas grandes tienden a compactar la capa superficial de suelos con textura fina, lo cual reduce la tasa de infiltración y, en consecuencia, incrementa el riesgo de erosión o acumulación de agua superficial.

En el extremo opuesto, una lluvia demasiado fina es más fácilmente arrastrada por el viento y se producen pérdidas importantes por evaporación.

(Fuentes, 1999).

2.2.7.8 Elevador:

Los elementos que enlazan el aspersor con el ramal de riego están constituidos generalmente por el tubo portante del aspersor, los acoplamientos o conexiones rápidas, y un estabilizador que asegura la posición vertical tanto del tubo como del aspersor.

- El tubo que sostiene el aspersor está fabricado en acero galvanizado, aluminio o, cada vez con mayor frecuencia, en plástico rígido. Su longitud varía según la altura del cultivo a

irrigar, siendo las medidas más comunes 0,25, 0,5, 1, 1,5 y 2 metros. Los diámetros comerciales de estos tubos oscilan entre 0,5 y 1 pulgada (19-25 mm).

- Por otro lado, los acoplamientos o conexiones rápidas facilitan la unión y desconexión del tubo porta aspersor con el ramal de riego, permitiendo realizar estas operaciones sin necesidad de detener el sistema. Esto posibilita además la inspección o el traslado de los aspersores a otro ramal de manera eficiente.

2.2.8 Anemómetro

El Anemómetro es un instrumento utilizado para medir la dirección e intensidad del viento, empleando para ello una veleta para medir la dirección y un pequeño generador impulsado por unas aspas para medir la intensidad. (Drapela, 2008).

Los componentes del sistema son:

- Dispositivos sensores, tales como anemómetros de tipo grímpola para medir la intensidad del viento y veletas para determinar su dirección.
- Unidad encargada de retransmitir los datos relativos a la velocidad y dirección del viento.
- Receptores de velocidad y dirección del viento (repetidores). (Drapela, 2008)

2.2.8.1 Anemómetro Kestrel 1000 pocket weather ® Meter

Este instrumento cuenta con una función de retención de datos y una función de apagado automático. Cada unidad se prueba completamente en la fábrica para determinar la precisión de medición y la integridad a prueba de agua, Este instrumento mide las siguientes condiciones ambientales:

- **Velocidad del viento:** promedio durante los tres segundos anteriores. La medición será precisa para el flujo de aire a través de la parte delantera o trasera de la unidad.
- **Ráfaga de viento máxima:** velocidad máxima del viento durante 3 segundos desde que se activó la unidad.
- **Velocidad promedio del viento:** velocidad promedio del viento desde que se activó la unidad.

2.2.8.1.1 Unidades de medidas de Kestrel 1000.

Este instrumento tiene las siguientes unidades de medida m/s, ft/m, km/h, mph, kt, B. (KELLERMAN, 2007)

2.2.8.1.2 Dato importante de la velocidad de viento.

Se recomienda que la velocidad del viento se registre continuamente durante el período de prueba en una tabla grabadora. Si el equipo de registro continuo no está disponible, las mediciones de la velocidad del viento se tomarán al comienzo y final de la prueba y en intervalos que no excedan el 10% del período de prueba o en intervalos de 3 minutos. (ASAE, MAR1985 (R2016)).

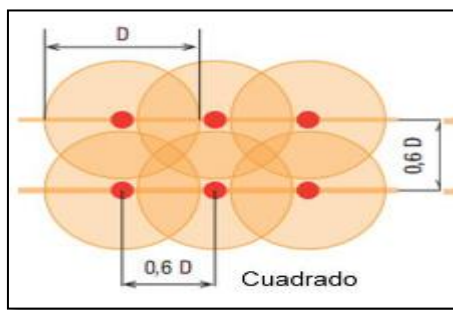
Los marcos más comunes son el cuadrado, el rectangular y el triangular o de tresbolillo. La superficie del suelo que riega cada aspersor según cada uno de estos marcos está determinada por la distancia entre aspersores y ramales, de forma que: (Fernández, 2010).

Según Fernández (2010), se clasifican en marcos cuadrados, rectángulos y triángulos.

a. Marco cuadrado:

La superficie de riego se calcula multiplicando la distancia entre aspersores por la distancia entre ramales ($D_a \times D_a$). Las configuraciones de espaciamiento más comunes empleadas son 12 x 12, 15 x 15 y 18 x 18 metros.

Figura 15. Distribución de los aspersores.

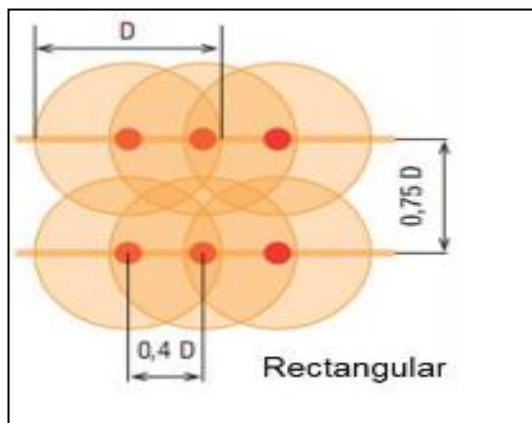


Fuente: Bartolomé y Vega (2005) curso de riego para agricultores.

b. Marco rectangular

La superficie irrigada se determina mediante el producto entre la distancia que separa los aspersores y la distancia entre los ramales, es decir: $\text{Superficie} = D_a \times D_r$. Las combinaciones de espaciamiento más comúnmente empleadas entre aspersores y ramales son: 12 x 15, 12 x 18 y 15 x 18 metros, respectivamente.

Figura 16. Distribución de los aspersores.

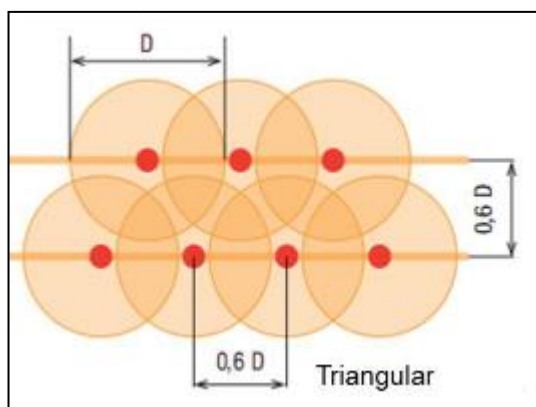


Fuente: Bartolomé y Vega (2005) curso de riego para agricultores.

c. Marco triangular

Superficie = Distancia entre aspersores $\times$ Distancia entre ramales = $D_a \times D_r$. Las distancias más utilizadas son: 18×15 y 21×18 respectivamente. (Fernández, 2010).

Figura 17. Distribución de los aspersores



Fuente: Bartolomé y Vega (2005) curso de riego para agricultores.

2.2.9 Descripción y ubicación de los colectores

Todos los colectores utilizados para cualquier prueba serán idénticos, deberán ser tales que el agua no salpique dentro o fuera. El tipo de colector debe ser identificado y registrado en la hoja de datos, si es un supresor de la evaporación se utiliza, su tipo y método de aplicación se identificarán y registrarán en la hoja de datos. La posición de todos los colectores se mantendrá tal que la porción de entrada esté nivelada.

La altura sobre el suelo de la parte superior de cualquier colector debe ser como máximo de 0,9 m (3 pies) sobre el suelo. Los colectores se colocarán de forma que el cambio vertical de altura entre colectores sucesivos no superar una calificación del 1%. (ASAE, MAR1985 (R2016)).

2.2.9.1 Lecturas del colector

La cantidad de agua en cada colector debe ser determinada y registrada con precisión que muestra la ubicación de los colectores en relación con el rociador. Para pruebas con múltiples patas, las lecturas para cada pierna deberán ser registradas de forma independiente. (ASAE, MAR1985 (R2016)).

2.2.10 Coeficiente de uniformidad de Christiansen

La uniformidad de aplicación es la preocupación principal en el procedimiento de diseño de riego por aspersión. (Keller, 1983).

La uniformidad es un indicador de la equivalencia con la que el agua se distribuye en un campo de riego. Considerando que un sistema de riego nunca alcanza una uniformidad de 100%, el término uniformidad, en realidad se refiere a la variación o desuniformidad con que se reparte el agua. (Luque, 1969).

La importancia agronómica de contar con una buena uniformidad de reparto de agua queda de manifiesto al corregir zonas que han sido regadas deficitariamente, se tiene que recurrir una aplicación excesiva en áreas que ya tenían un buen perfil mojado, mejorándose una zona bien regada y otras sobre regada (Luque, 1969).

Un riego excesivo puede provocar el arrastre de nutrientes fundamentales para el desarrollo del cultivo hacia capas más profundas del suelo, reduciendo así su disponibilidad. Por otro lado, en zonas con deficiencia de riego, se incrementa la tensión hídrica del suelo, lo que obliga a la planta a realizar un mayor esfuerzo para absorber el agua. Esta descompensación en la aplicación hídrica puede repercutir negativamente en el desarrollo de las partes comercialmente aprovechables de la planta (Luque, 1969).

Una herramienta comúnmente utilizada para evaluar la uniformidad del riego por aspersión es el Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (CU), el cual refleja cuán homogéneamente se distribuye el agua en la superficie regada.

Infiltrada, representada por un porcentaje. Un valor del 100%, significa que en toda la superficie de riego se ha infiltrado la misma cantidad de agua, situación que no ocurre en la práctica, (Fuentes, 1996).

En riego por aspersión se utiliza preferentemente el Coeficiente de Uniformidad de Christiansen, el cual corresponde a una representación estadística de la Uniformidad de Distribución (UD), y se expresa en porcentaje, (Fuentes, 1996).

2.2.10.1 Coeficiente de uniformidad (CU)

El cálculo del coeficiente de uniformidad de aplicación se realiza de acuerdo a la Fórmula de J.E. Christiansen de la Universidad de California.

$$CU = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n\bar{x}} \right] \quad (5)$$

En donde:

CU = coeficiente de uniformidad (%)

x_i = cada uno de los datos (de 1 a n)

$\bar{x}$ = Promedio de todos los datos

n = número de datos

Los sistemas de riego por aspersión necesitan un valor mínimo de uniformidad, para ser tenidos en cuenta como aceptables. Para los sistemas de cobertura total, Keller y Bliesner (1990) consideran la uniformidad de riego adecuada cuando el Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (CU) es igual o superior al 84%. (Pair, 1977).

La uniformidad se basa principalmente en estos factores: colocación de los aspersores, fuerza del viento predominante y el diseño de distribución de agua del aspersor. Este último, depende a su vez del diseño del aspersor, presión de trabajo, número y tipo de boquillas, velocidad de giro del aspersor, altura sobre el suelo y mantenimiento del sistema (Pair, 1977).

Tabla 4: Valores para caracterizar el coeficiente de uniformidad de Christiansen

Tipo de Uniformidad	CUC (%)
Uniformidad Excelente	90 - 100
Uniformidad Bueno	80 - 90
Uniformidad Aceptable	70 - 80
Uniformidad Inaceptable	<70

Fuente: (Mirriam y Keller, 1978).

2.2.11 Uniformidad de distribución

Un término útil para asignarle un valor numérico a la uniformidad de aplicación es uniformidad de distribución (DU). La DU indica la uniformidad de aplicación en el campo y se computa mediante (Keller, 1983).

$$DU = 100 \times Lp\ 25\% / x \quad (6)$$

En Donde:

DU = Uniformidad de Distribución (%)

Lp 25% = Promedio de los datos sobre el 25% del área que percibe la menor precipitación.

x = Promedio de todos los datos, (Pair, 1977).

El promedio de lámina recibida en el cuarto inferior es el promedio de los valores del cuarto más bajo donde cada valor representa un área igual. (Keller, 1983).

2.2.11.1 Procedimientos empleados para la evaluación de la uniformidad en la aplicación del agua mediante sistemas de riego.

De acuerdo con Soto (2002), se reconocen tres procedimientos principales para evaluar la uniformidad en la aplicación del agua mediante sistemas de aspersión.

Método 1: Prueba individual del aspersor.

Este procedimiento es adecuado para evaluar el rendimiento de un aspersor de forma aislada, siendo especialmente útil durante las distintas etapas de desarrollo del modelo por parte del fabricante. Además, permite generar recomendaciones útiles para la planificación de sistemas de riego, ya que la evaluación se realiza sin la interferencia de otros aspersores cercanos. También puede aplicarse en cultivos extensivos, siempre que las condiciones climáticas sean de ausencia de viento o presencia de vientos leves.

En el caso de cultivos extensivos, la evaluación del aspersor se realiza operándolo durante un período comprendido entre 2 y 4 horas. Para la recolección del agua, se emplean recipientes dispuestos a intervalos de 2 x 2 metros, exceptuando las direcciones cardinales, donde la separación entre ellos se reduce a 1 metro. En contraste, para huertos frutales, los recipientes se colocan con una separación uniforme de 1 metro tanto en sentido longitudinal como transversal.

La ventaja de este método permite calcular las uniformidades de aplicación para cualquier espaciamiento de los aspersores, pero sus desventajas están en la necesidad de ejecutar un ensayo relativamente largo (2 - 4 horas), el uso de más envases que los otros

métodos y en tomar precauciones, para evitar la evaporación del agua de los envases.
(Soto, 2002).

Metodo2: Ensayo con una línea lateral unitaria

En esta situación, se habilita una línea con cuatro aspersores para que opere con un espaciamiento homogéneo a lo largo de dicha línea, durante un lapso mínimo de 2 horas. Este método es apropiado para cultivos extensivos ya que se asemeja a las condiciones reales de irrigación en la agricultura. Efectivamente, las líneas operan de forma separada y no al mismo tiempo.

Este sistema permite calcular la uniformidad de aplicación para cualquier distancia entre líneas, mientras que el espaciamiento entre aspersores es fijado de antemano. (Soto, 2002).

método 3: Ensayo con líneas laterales operadas simultáneamente.

Este procedimiento permite el funcionamiento sincronizado de 2 a 4 líneas con 4 o más aspersores, en función del diámetro de cobertura del aspersor.

Este sistema posibilita determinar la uniformidad de aplicación solo para un espacio determinado.

Este procedimiento se aplica en cultivos extensivos, plantaciones de frutas y en cualquier tipo de viento. Este sistema tiene por ventajas de utilizar un número reducido de envases y de ejecutar el ensayo durante un período de 1 hora a 1 hora y media que es igual a una lámina de 10 mm de precipitación en promedio. (Soto, 2002).

2.3 DEFINICIONES DE TERMINOS (MARCO CONCEPTUAL)

2.3.1 *El agua*

El agua es un recurso natural limitado, de utilización amplia y esencial para la vida, cuya pérdida de calidad puede ocurrir fácil y rápidamente, razón por la cual debe ser preservada en cualquier circunstancia de suministro que se presente. (FAO, 2013).

2.3.2 *Coeficiente de Uniformidad de Christiansen*

La uniformidad es un indicador de la equidad en la distribución del agua en una zona de irrigación. Considerando que un sistema de riego nunca alcanza una uniformidad de 100%, el término uniformidad, en realidad se refiere a la variación o desuniformidad con que se reparte el agua (Luque, 1969).

2.3.3 *Aspersor*

Según Bernardo pascual los aspersores o aparatos de aspersión son posiblemente los elementos más importantes de los sistemas de riego por aspersión, pues son los encargados de aportar el agua sobre el suelo (o follaje) a un ritmo tal que este pueda absorberlo sin producirse escorrentía y consiguiendo una elevada uniformidad. (Bernardo, 2008).

2.3.4 *Sistemas de riego*

Es la aplicación de agua en forma artificial, no por el producto de la lluvia, a un determinado terreno con el fin de que este recupere un nivel de humedad que se aproveche por las plantas que en él están arraigadas permitiéndoles vivir y desarrollarse. (Castañón, 2000).

2.3.5 Marco de riego

El marco de riego define tanto la separación entre los aspersores instalados en un mismo ramal como la existente entre ramales consecutivos, permitiendo la superposición de las zonas irrigadas por aspersores adyacentes. Con el fin de garantizar una distribución uniforme del agua, la elección del tipo de aspersor debe realizarse de manera conjunta con la del marco, de forma que las regiones más alejadas de cada aspersor reciban una cantidad adecuada de agua.

2.3.6 Presión

Cada aspersor está concebido para operar dentro de un intervalo específico de presiones, dentro del cual se mantiene una distribución del agua conforme a un patrón preestablecido. Cuando la presión desciende, el chorro de agua se fragmenta en gotas de mayor tamaño y, si la disminución es considerable, la precipitación tiende a concentrarse en dos zonas diferenciadas: una cercana al aspersor y otra en la periferia del área de alcance, generando así un patrón de doble anillo de mojado.

2.3.7 Hidrante

Los puntos de toma representan las salidas de agua dispuestas a lo largo de la línea lateral de distribución en sistemas de riego. A través de estos puntos se conecta la línea de riego móvil, generalmente mediante un mecanismo de acoplamiento rápido. Este sistema incluye una válvula automática y un conector tipo bayoneta, lo que permite una conexión ágil y funcional, facilitando así la conducción del agua hacia los aspersores a través de la manguera correspondiente (Vásquez, 2002).

2.3.8 Tubería de distribución

Se trata de conductos entubados que operan bajo presión hidráulica, cuya función principal es distribuir el caudal de agua hacia las distintas zonas de riego. Estas líneas, que se derivan lateralmente de la tubería matriz o principal, están equipadas con hidrantes ubicados a lo largo de su trayecto, los cuales permiten la conexión con las líneas secundarias. En situaciones específicas donde sea necesario regular la presión, se incorporan dispositivos rompe-presión a lo largo del sistema (Vásquez, 2002).

2.3.9 Canal de conducción entubado

Se trata de un conducto o línea entubada que opera bajo gravedad hidráulica. Esta línea se conecta directamente al sistema de captación, específicamente desde el desarenador, y su función es conducir el caudal de agua hacia las líneas de distribución a través de las cámaras de riego (Vásquez, 2002).

2.3.10 Caudalímetro

Instrumento que se usa para medir el caudal del flujo de agua en un conducto cerrado sometido a presión hidráulica (Vásquez, 2002).

2.3.11 Manómetro

Instrumento que se usa para medir la presión hidráulica del flujo de agua en un conducto cerrado, generalmente, tubería (Vásquez, 2002).

CAPITULO III METODOLOGIA

3.1 *Enfoque de la investigación*

El presente estudio adopta un enfoque cuantitativo. Hernández Sampiere y Mendoza (2019) señalan que dicho enfoque es adecuado cuando se busca cuantificar la magnitud o frecuencia de fenómenos y validar hipótesis formuladas previamente a la recolección y análisis de datos. En este sentido, la investigación se fundamenta en la obtención de datos a través de ensayos de campo, el análisis numérico de la información para responder a las interrogantes planteadas, el uso de instrumentos de medición que permiten obtener observaciones precisas, así como la aplicación de métodos estadísticos para interpretar los resultados de manera objetiva.

3.2 *Alcance de estudio*

Con base en las características de la investigación, esta se ubica en el nivel descriptivo. Hernández Sampiere y Mendoza (2019) indican que dicho nivel tiene como objetivo identificar y detallar propiedades y características relevantes de un fenómeno, variable o hecho dentro de un contexto específico, o de cualquier otro objeto de análisis. Esto implica la medición o recolección de datos, así como la presentación de información relacionada con distintos conceptos, variables, aspectos o problemáticas investigativas.

El presente estudio se enmarca dentro de un enfoque descriptivo-correlacional. Es descriptivo porque se realiza una caracterización cuantitativa de la cuenca objeto de estudio, determinando los parámetros de calidad del agua, los cuales serán evaluados conforme a los estándares establecidos mediante el uso del sistema Aquatool, cuyos resultados se interpretan cuantitativamente. Asimismo, es correlacional porque busca

identificar el grado de relación entre dos variables: el caudal de la cuenca y los parámetros de calidad del agua.

3.3 *Diseño de la Investigación*

De acuerdo con Hernández Sampiere y Mendoza (2019), el diseño de investigación se define como un plan o estrategia estructurada con el fin de obtener la información necesaria para responder adecuadamente al planteamiento del problema de estudio. Asimismo, estos autores señalan que los diseños no experimentales se caracterizan por la ausencia de manipulación deliberada de las variables, limitándose a la observación de los fenómenos en su entorno natural para su posterior análisis.

El presente estudio adopta un diseño de investigación de tipo “no experimental”, ya que se centra en la observación y medición de fenómenos y variables tal como se presentan en su contexto natural. Además, corresponde a un diseño longitudinal no experimental, dado que la recolección de datos se realiza en distintos momentos temporales con el objetivo de inferir sobre la evolución, causas y efectos de los fenómenos estudiados.

En consonancia con este enfoque teórico, se llevó a cabo la recopilación de información relacionada con los parámetros del coeficiente de uniformidad del agua, seguida por el análisis espacio-temporal de dicho coeficiente en la comunidad de San Sebastián Llusco Ccollana.

3.4 Operacionalización de variables

Tabla 5: Matriz de operacionalización de variables

<i>VARIABLE</i>	<i>DIMENSIONES</i>	<i>INDICADOR</i>	<i>Unidad</i>	<i>INSTRUMENTO</i>
Coeficiente de uniformidad en ladera	Cobertura de aspersores	Marco de riego	Metro	Cinta métrica
	Fuerza del viento	Velocidad del viento	m/s	Anemómetro
	Sistema de distribución de agua	Medición de la Presión de trabajo	Bar	Manómetro
		Caudal	m ³ /h	Formula
		Tipo de aspersores	Unid.	Aspersor
		Número y tipo de Boquillas	Unid.	Aspersor
		Velocidad de Rotación	Seg. /revolución	Cronometro

Fuente: Elaboración propia.

3.5 Población

La población son todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones (Sampieri R. H., 2018, pág. 198) la unidad de muestreo serán piezas producidas, la cantidad de ensayos realizados fueron dieciocho con tres modelos de aspersores y tres pendientes del terreno.

3.6 Muestra

La muestra utilizada es de tipo no probabilística, lo cual implica un procedimiento de selección basado en las características específicas y el contexto de la investigación (Sampieri, 2018, p. 215). Para este estudio, la muestra estuvo conformada por los aspersores VYR35, VYR70 y F-30, seleccionados debido a que presentan las propiedades necesarias para el riego parcelario tales como caudal, radio de mojado y presión de funcionamiento y por ser de uso común en este tipo de aplicaciones.

3.7 Muestreo

El muestreo no probabilístico se basa en la selección de unidades según el criterio del investigador para la realización de las evaluaciones.

3.8 Técnica e Instrumento

3.8.1 Técnicas de recolección de datos

Implica usar uno o varios instrumentos de medición para recolectar la información necesaria de las variables, (Sampieri R. H., 2018, pág. 226) los datos

recogidos serán la justificación del análisis, la fuente de donde se percibirán los datos será la observación directa y registros del coeficiente de uniformidad.

3.8.2 Instrumentos de recolección de datos

El instrumento utilizado para el cálculo del coeficiente de uniformidad fue desarrollado por Juan C. Callisaya Catari en su tesis de Maestría en Ciencias titulada “Aplicación de tres láminas de agua con riego por aspersión en el cultivo de alfalfa en la estación experimental de Choquenaira – La Paz”, Bolivia, 2018 (véase anexo 3).

3.8.3 Materiales y equipos

La parcela experimental se localiza en la comunidad de San Sebastián Llusco Ccollana, distrito de Llusco, región Cusco. Los materiales y equipos empleados en el estudio se describen detalladamente en el cuadro siguiente.

Tabla 6: Materiales y equipos

Materiales y equipos	
Materiales	Equipos
Cinta métrica	Estación Total
aspersores	Anemómetro
Manguera	Cronometro
colectores	Manómetro
parantes par colectores	Computadora

Fuente: Elaboración propia

3.9 Delimitación del Estudio

3.9.1 Delimitación Espacial

Las labores de campo y las evaluaciones se llevaron a cabo desde el 6 desetiembre del 2024 hasta el 30 de diciembre del 2024 en la comunidad rural San Sebastián Llusco Ccollana, ubicada en el distrito Llusco, provincia de Chumbivilcas y departamento de Cusco.

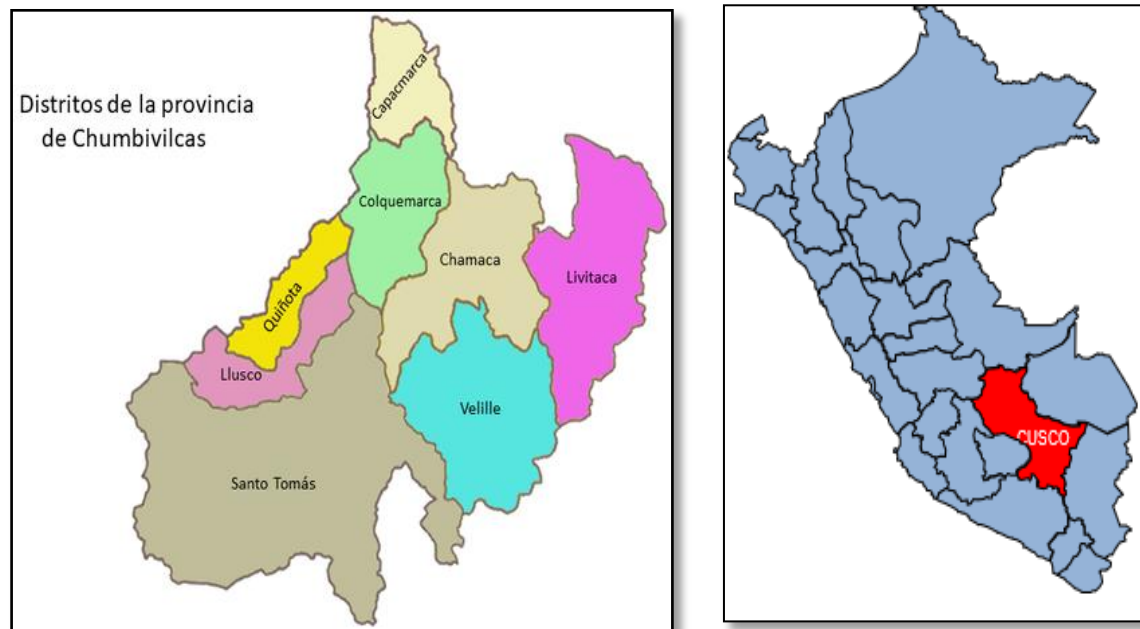
Ubicación política

Región: Cusco

Provincia: Chumbivilcas

Distrito: Llusco

Figura 18. Mapa de ubicación de la tesis.



Fuente: Elaboración propia

Figura 19. Ubicación del campo experimental



Fuente: Google Earth Pro.

3.9.2 Delimitación temporal

El periodo de estudio se establece entre los meses de septiembre y diciembre de 2024, debido a que corresponde a la temporada seca, caracterizada por la ausencia de precipitaciones pluviales. Esta condición es fundamental para llevar a cabo las pruebas de pluviometría sin la influencia de lluvias adicionales, las cuales podrían generar errores y distorsionar los resultados de la investigación.

3.10 Trabajos Preliminares

3.10.1 Reconocimiento del campo experimental

Se realizó con la finalidad de tener las condiciones favorables para hacer las pruebas de uniformidad, donde se determinaron tres parcelas en la Comunidad San Sebastián Llusco Ccollana, distrito Llusco, Provincia de Chumbivilcas y departamento Cusco, parcela uno (01) “Huayllapata” con coordenadas UTM 18L E- 812304.00 N- 8413095.00, donde se realizaron evaluaciones para pendiente de 3.8 % (Ligeramente inclinada), la parcela dos (02) “Q’enqo”, de coordenadas UTM 18L E- 812195.00 N - 8413014.00 , donde se realizaron evaluaciones de pendiente de 10.6 % (Fuertemente inclinada) y la parcela tres(03) “Lakitiyu”, de coordenadas UTM 18L E - 812452.89 N- 8413009.31, donde se realizaron evaluaciones de pendiente de 21.5 % (Moderadamente empinada), el reconocimiento del área nos permitió conocer fuente de agua, para la parcela uno (01), se tuvo como fuente de agua la captación del rio Omaqata, de la bocatoma de material concreto armado, que se encuentra en el sector huayq’o, la línea de conducción llega al cabezal de riego automatizado de las parcelas experimentales del área de ingeniería agrícola.

El control del tiempo fue automatizado en el cabezal de riego de dos (02) horas por cada evaluación, para las evaluaciones en las parcelas de Huayllapata, Q'enqo y Lakitiyu se instaló con manguera de polietileno de $\frac{3}{4}$ " desde el cabezal a la parcela de un hidrante con el cual se realizaron las evaluaciones.

3.10.2 Sistematización del campo experimental

3.10.2.1 Levantamiento topográfico

Se realizó trabajos de levantamiento topográfico con fines de saber la pendiente del campo experimental con estación total, dando como resultado 3.8 % de pendiente del lado este a oeste del terreno y 1.68% de pendiente del lado Norte a Sur.

3.10.2.2 Trazo de cuadrantes y sub – áreas

Se realizó el trazo de cuadrantes y sub-áreas de 3 x 3 m, los trazos se realizaron para un marco de riego de 18 x 18 m (marco de riego cuadrado).

3.10.2.3 Instalación de parantes portas colectores pluviométricos

Cada parante se instaló en la parte central de cada sub área de 3 x 3 m para un marco de riego de 18 x 18 m instalándose un total de 144 parantes, la altura de cada parante fue de 0.80 cm de altura tomándose como fuente la norma ASAE, que indica una altura máxima de 0.90 cm para las pruebas de aspersores, alineándose con cordel en la parte superior de los parantes.

3.11 Determinación del coeficiente de uniformidad de distribución de agua

La evaluación se realizó tomando como referencia el método de (Salassier, 2002), para determinar el coeficiente de uniformidad de distribución de agua, se instaló

un conjunto de colectores pluviométricos (envases de 1 litro) abiertas en la parte superior, equidistantes, el funcionamiento del aspersor fue de 2 horas, durante la evaluación se midió la presión del aspersor en la boquilla al inicio, de una hora y al final de la evaluación, la velocidad del viento y el volumen de la lámina de agua colectada en cada pluviómetro.

El área circundante al aspersor fue dividida en subáreas cuadradas de dimensiones homogéneas. Los pluviómetros se ubicaron en el centro de cada subárea, de modo que el volumen o lámina de agua recolectado en cada dispositivo representa la precipitación correspondiente a dicha subárea.

El número de colectores que fueron instalados por evaluación fue de 144 colectores para un marco de riego cuadrado de 18 x 18 metros.

El resultado de las evaluaciones representa el desempeño de un aspersor sobre la misma área.

El coeficiente de uniformidad de distribución se calculó con la ecuación de Christiansen, propuesta por J.E. Christiansen, 1942.

$$C \cup C = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n\bar{x}} \right] \quad (7)$$

Donde:

CUC= uniformidad de aplicación de Christiansen

X_i = precipitación observada en cada pluviómetro

$\bar{x}$ = promedio de precipitaciones

n = número de pluviómetros.

3.11.1 Caudal del aspersor

(Baca, 2013), manifiesta para hallar el caudal del aspersor se calculará aplicandola siguiente formula:

$$q = 0,01252Cd\sqrt{H}\Sigma_1^n(d_1^2) \quad (8)$$

Donde:

q = caudal del aspersor en m³/h

Cd = coeficiente de descarga del aspersor (0.94).

H = carga piezométrica disponible en las boquillas, (m).

d1 y d2 = diámetros de las boquillas, mm.

3.11.2 Intensidad media de precipitación

(Baca, 2013), manifiesta la intensidad media de precipitación es el caudal por el área efectiva de humedecimiento de los aspersores, conforme la siguiente ecuación:

$$IA = \left[\frac{q(m^3/hr)}{E_1 \times E_2} \right] \times 1000 \quad (9)$$

Donde:

IA= Intensidad o razón media de PP, (mm/hr)

q= caudal del aspersor m³/hr.

E1 y E2 = Espacio entre los aspersores en la línea lateral y entre las líneas laterales, respectivamente, (m).

3.11.3 Presión de operación

En cuanto a la presión de funcionamiento se midió tres (03) veces durante la evaluación con un manómetro, al inicio, a media evaluación y al final, obteniendoun solo promedio con los tres datos obtenidos para cada prueba.

3.11.4 Disposición de los aspersores

Las evaluaciones se realizaron para marco de riego cuadrado de 18 x 18 m. para los cinco modelos de aspersores en ladera, en tres tipos de pendiente, con los datos obtenidos se realizó la simulación para marcos de riego cuadrado de 12 x12 m y 24 x 24 m en terreno con pendiente de 3.8 % ,10.6 % y 21.5%.

3.11.5 Resumen

La ejecución de las evaluaciones consistió en efectuar las operaciones siguientes:

Parcela 01“Huayllapata”

- Abrir la compuerta de la bocatoma, abrir la llave de purgación y en la línea de conducción 3 llaves.
- Abrir las llaves del hidrante.
- Calcular el tiempo con cronometro 2:00 horas de evaluación.
- Medir la presión de los aspersores.
- Medir la velocidad del viento y registrar (cada 10 - 15min).
- Medir la temperatura y la humedad relativa cada 15 minutos con (higrómetro y termómetro portátil).

- Al finalizar las dos horas de funcionamiento se realizaron las lecturas del agua contenida en cada colector pluviométrico con probetas milimetradas para luego calcular con fórmulas el CUC.

Parcela 02 “Q’engo”

- Abrir la compuerta de la bocatoma, abrir la llave de purgación y en la línea de conducción 3 llaves.
- Abrir las llaves del hidrante.
- Calcular el tiempo con cronometro 2:00 horas de evaluación.
- Medir la presión de los aspersores.
- Medir la velocidad del viento y registrar (cada 10 - 15min).
- Medir la temperatura y la humedad relativa cada 15 minutos con (higrómetro y termómetro portátil).
- Al finalizar las dos horas de funcionamiento se realizaron las lecturas del agua contenida en cada colector pluviométrico con probetas milimetradas para luego calcular con fórmulas el CUC.

Parcela 03“Lakitiyu”

- Abrir la compuerta de la bocatoma, abrir la llave de purgación y en la línea de conducción 3 llaves.
- Abrir las llaves del hidrante.

- Calcular el tiempo con cronometro 2:00 horas de evaluación.
- Medir la presión de los aspersores.
- Medir la velocidad del viento y registrar (cada 10 - 15min).
- Medir la temperatura y la humedad relativa cada 15 minutos con (higrómetro y termómetro portátil).
- Al finalizar las dos horas de funcionamiento se realizaron las lecturas del agua contenida en cada colector pluviométrico con probetas milimetradas para luego calcular con fórmulas el CUC.

3.11.6 Medidas de las precipitaciones

El agua contenida en los colectores pluviométricos se midió con dos probetas graduadas de 250 ml y 25 ml. Se registraron en las planillas y luego se evaluaron los CUC aplicando las fórmulas.

3.11.7 Repetición del ensayo

- En la parcela 01 “Huayllapata”, se realizó dos repeticiones de cada evaluación en los tres modelos de aspersores y en pendiente de 3.8%.
- en la parcela 02 de “Q’enco”, se realizó dos repeticiones de cada evaluación en los tres modelos de aspersores en pendiente de 10.6 %.
- En la parcela 03 “Lakitiyu”, se realizó dos repeticiones de cada evaluación en los cinco modelos de aspersores y en pendiente de 21.5%.

CAPITULO IV RESULTADOS

4.1 Resultados obtenidos

Resultados obtenidos de las evaluaciones del coeficiente de uniformidad en ladera en tres modelos de aspersores VYR 35,F30 y VYR 70; y tres tipos de pendientes 3.8 % (Ligeramente inclinada), 10.6% (Fuertemente inclinada) y 21.5% (Moderadamente empinada), las pruebas se realizaron en la Comunidad Campesina San Sebastián Llusco Ccollana en marco de riego cuadrado 18 x18, con método del aspersor único (1 aspersor) tomando como referencia la metodología de (Salassier Bernardo, 2002).

4.1.1 Evaluación del coeficiente de uniformidad de distribución del aspersor VYR 35.

4.1.1.1 Evaluación N° 01, pendiente 3.8% (ligeramente inclinada).

Tabla 7: Características del experimento

EVALUACION DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE DISTRIBUCION DE AGUA			
N° de prueba:	1	Modelo de aspersor:	VYR 35
Pendiente de terreno (%)	3.8	Descarga (m ³ /h)	1.68
Fecha de Evaluación:	10/09/2024	Altura del elevador: (m)	0.8
Inicio de Evaluación Hora:	10:00 a. m.	Espaciamiento de los envases: (m/m)	3 X 3
Término de la evaluación Hora	12:00 p. m.	presión: (bar)	3.85
Duración:	2 hr	Velocidad de Rotación: (seg/rev)	37
Espaciamiento de aspersores: (m/m)	18 X 18	Humedad Relativa (%)	42
Velocidad del viento: (m/s)	1.90	Temperatura: (°C)	23.20

Fuente: elaboración propia

a. Marco de riego(cuadrado)12x12 metros.

Tabla 8: Lectura de los pluviómetros en ml

CUADRANTE I				CUADRANTE II			
11	22	26	24	24	23	22	8
27	18	13	8	11	15	36	32
21	12	22	56	37	29	25	39
15	21	50	102	109	42	25	25
13	26	65	101	95	49	23	21
19	15	28	55	51	24	15	18
21	13	14	14	16	13	19	18
20	17	19	16	13	13	21	10
CUADRANTE III				CUADRANTE IV			

Fuente: Elaboración propia.

Simulación con los datos observados, superponiendo los valores obtenidos para el espaciamiento de 12 x 12 m, resultando 16 colectores (n).

Tabla 9. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores

143	120	136	154
108	72	92	113
95	67	80	127
157	93	115	153

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo los datos de la evaluación, procedemos a aplicar la fórmula de coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC), reemplazando los valores se tiene.

$$n = 16 \quad C \cup C = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n\bar{x}} \right]$$

$$\Sigma = 388$$

$$\bar{x} = 114.25 \quad CUC = 79 \%$$

Interpretación:

Teniendo el CUC de 79 % en el aspersor VYR 35. Pendiente 3.8 % (ligeramente inclinada), marco de riego 12 x 12 m, nos permite explicar que, si hubiera 100 plantas irrigadas, 79 plantas están recibiendo la misma cantidad de agua por el aspersor VYR 35 y 21 plantas están recibiendo cantidades mayores o menores a la lámina aplicada.

a. Marco de riego(cuadrado)18x18 metros

Tabla 10. Lectura de los pluviómetros en ml.

CUADRANTE I						CUADRANTE II					
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	2	12	24	23	28	30	22	10	0	0
0	0	11	22	26	24	24	23	22	8	0	0
0	10	27	18	13	8	11	15	36	32	6	0
0	15	21	12	22	56	37	29	25	39	21	3
7	21	15	21	50	102	109	42	25	25	22	2
6	20	13	26	65	101	95	49	23	21	19	4
3	17	19	15	28	55	51	24	15	18	15	3
0	14	21	13	14	14	16	13	19	18	5	2
0	3	20	17	19	16	13	13	21	10	0	0
0	0	11	16	19	15	14	11	6	2	0	0
0	0	0	0	1	4	2	1	0	0	0	0
CUADRANTE III						CUADRANTE IV					

Fuente: Elaboración propia.

Simulación con los datos observados, superponiendo los valores obtenidos para el espaciamiento de 18 x 18 m, resultando 36 colectores (n)

Tabla 11. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores

101	69	36	47	84	105
82	71	58	55	67	81
40	50	73	61	45	40
24	41	104	77	38	24
51	55	63	69	62	74
118	64	40	46	73	108

Fuente: elaboración propia

Teniendo los datos de la evaluación, procedemos a aplicar la fórmula de coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC), reemplazando los valores se tiene.

$$n = 36$$

$$C \cup C = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n\bar{x}} \right]$$

$$\sum = 671.56$$

$$\bar{x} = 63.78$$

$$CUC = 71 \%$$

Interpretación:

Teniendo el CUC de 71.00 % en el aspersor VYR 35, Pendiente 3.8 % (ligeramente inclinada), marco de riego 18 x 18 m, nos permite explicar que, si hubiera 100 plantas irrigadas, 71.00 plantas están recibiendo la misma cantidad de agua por el aspersor VYR 35 y 29 plantas están recibiendo cantidades mayores o menores a la lámina aplicada, de acuerdo al rango de los valores para caracterizar el CUC se encuentra en uniformidad inaceptable.

b. Marco de riego (cuadrado) 24x24 metros

Tabla 12. Lectura de los pluviómetros en ml.

CUADRANTE I								CUADRANTE II							
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	1	16	18	21	24	18	5	0	0	0	0
0	0	0	1	2	12	24	23	28	30	22	10	2	0	0	0
0	0	0	0	11	22	26	24	24	23	22	8	6	2	0	0
0	0	1	10	27	18	13	8	11	15	36	32	15	2	0	0
0	0	2	15	21	12	22	56	37	29	25	39	21	3	0	0
0	0	7	21	15	21	50	102	109	42	25	25	22	2	0	0
0	0	6	20	13	26	65	101	95	49	23	21	19	4	0	0
0	0	3	17	19	15	28	55	51	24	15	18	15	3	0	0
0	0	2	14	21	13	14	14	16	13	19	18	5	2	0	0
0	0	0	3	20	17	19	16	13	13	21	10	0	0	0	0
0	0	0	0	11	16	19	15	14	11	6	2	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	4	2	1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CUADRANTE III								CUADRANTE IV							

Fuente: elaboración propia.

Simulación con los datos observados, superponiendo los valores obtenidos para el espaciamiento de 24 x 24 m, resultando 64 colectores (n).

Tabla 13. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores.

95	49	29	41	32	30	65	101
51	24	18	35	34	18	28	55
37	37	39	37	27	16	30	32
41	43	43	24	24	29	43	39
38	34	28	10	28	40	45	39
13	16	37	42	42	20	14	12
37	29	27	54	42	15	22	56
109	42	32	46	37	23	50	102

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo los datos de la evaluación, procedemos a aplicar la fórmula de coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC), reemplazando los valores se tiene.

$$n = 64$$

$$C \cup C = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n\bar{x}} \right]$$

$$\sum = 856.2$$

$$\bar{x} = 37.92$$

$$CUC = 65 \%$$

Interpretación:

Teniendo el CUC de 65.00 % en el aspersor VYR 35, Pendiente 3.5 % (ligeramente inclinada), marco de riego 24 x 24 m, nos permite explicar que, si hubiese 100 plantas irrigadas, 65 plantas están recibiendo la misma cantidad de agua por el aspersor VYR 35 y 35 plantas están recibiendo cantidades mayores o menores a la lámina aplicada, de acuerdo al rango de los valores paracaracterizar el CUC se encuentra en uniformidad inaceptable.

4.1.1.2 Evaluación N° 02, pendiente 3.8% (ligeramente inclinada).

Tabla 14. Características del experimento

EVALUACION DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE DISTRIBUCION DE AGUA			
N° de prueba:	2	Modelo de aspersor:	VYR 35
Pendiente de terreno (%)	3.8	Descarga (m3/h)	1.65
Fecha de Evaluación:	10/09/2024	Altura del elevador: (m)	0.8
Inicio de Evaluación Hora:	1:00 p. m.	Espaciamiento de los envases: (m/m)	3 X 3
Término de la evaluación Hora	3:00 p. m.	Presión: (bar)	3.85
Duración:	2 hr	Velocidad de Rotación: (seg/rev)	37
Espaciamiento de aspersores: (m/m)	18 X 18	Humedad Relativa (%)	41.00
Velocidad del viento: (m/s)	1.42	Temperatura: (°C)	24.12

Fuente: Elaboración propia.

a. Marco de riego(cuadrado)12x12 metros.

Tabla 15. Lectura de los pluviómetros en ml.

CUADRANTE I				CUADRANTE II			
4	20	20	20	20	20	20	16
20	28	30	40	30	30	30	20
30	30	34	40	40	40	30	30
30	30	40	80	100	70	40	30
32	20	40	80	100	50	40	30
30	20	30	40	40	20	26	20
32	30	16	20	16	20	20	16
30	30	30	20	20	20	16	4
CUADRANTE III				CUADRANTE IV			

Fuente: Elaboración propia.

Simulación con los datos observados, superponiendo los valores obtenidos para el espaciamiento de 12 x 12 m, resultando 16 colectores (n).

Tabla 16. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores

156	110	120	146
120	98	116	120
118	120	100	106
180	150	126	134

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo los datos de la evaluación, procedemos a aplicar la fórmula de coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC), reemplazando los valores se tiene.

$$n = 16 \qquad C \cup C = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n\bar{x}} \right]$$

$$\Sigma = 269.5$$

$$\bar{x} = 126.25 \qquad CUC = 87 \%$$

Interpretación:

Teniendo el CUC de 87 % en el aspersor VYR 35, Pendiente 3.8 % (ligeramente inclinada), marco de riego 12 x 12 m, nos permite explicar que, si hubiese 100 plantas irrigadas, 87 plantas están recibiendo la misma cantidad de agua por el aspersor VYR 35 y 13 plantas están recibiendo cantidades mayores o menores a la lámina aplicada, pudiendo de esta manera perjudicar el rendimiento.

a. Marco de riego(cuadrado)18x18 metros.

Tabla 17.Lectura de los pluviómetros en ml.

CUADRANTE I						CUADRANTE II					
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	11	25	24	26	28	23	8	0	0
0	0	4	20	20	20	20	20	20	16	0	0
0	11	20	28	30	40	30	30	30	20	5	0
0	16	30	30	34	40	40	40	30	30	19	1
5	19	30	30	40	80	100	70	40	30	20	1
6	20	32	20	40	80	100	50	40	30	21	4
4	18	30	20	30	40	40	20	26	20	16	3
0	13	32	30	16	20	16	20	20	16	6	1
0	2	30	30	30	20	20	20	16	4	0	0
0	0	12	15	14	16	17	12	6	3	0	0
0	0	0	0	1	4	2	1	0	0	0	0
CUADRANTE III						CUADRANTE IV					

Fuente: Elaboración propia.

Simulación con los datos observados, superponiendo los valores obtenidos para el espaciamiento de 18 x 18 m, resultando 36 colectores (n).

Tabla 18.Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores

106	70	72	50	61	84
70	66	80	59	71	67
36	53	76	82	42	41
50	63	96	82	65	60
57	68	78	78	67	57
107	90	70	60	61	85

Fuente: elaboración propia.

Teniendo los datos de la evaluación, procedemos a aplicar la fórmula de coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC), reemplazando los valores se tiene.

$$n = 36$$

$$C \cup C = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n\bar{x}} \right]$$

$$\sum = 451.8$$

$$\bar{x} = 68.89$$

$$CUC = 82 \%$$

Interpretación:

Teniendo el CUC de 82% en el aspersor VYR 35, pendiente 3.8% (ligeramente inclinada), marco de riego 18x18 m, nos permite explicar que, si hubiese 100 plantas irrigadas, 82 plantas están recibiendo la misma cantidad de agua y 18 plantas están recibiendo cantidades mayores o menores a la lámina aplicada, de acuerdo al rango de valores para caracterizar el CUC se encuentra en uniformidad inaceptable.

b. Marco de riego (cuadrado) 24x24 metros

Tabla 19. Lectura de los pluviómetros en ml.

CUADRANTE I								CUADRANTE II							
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	11	25	24	26	28	23	8	0	0	0	0
0	0	0	0	4	20	20	20	20	20	20	16	0	0	0	0
0	0	0	11	20	28	30	40	30	30	30	20	5	0	0	0
0	0	0	16	30	30	34	40	40	40	30	30	19	1	0	0
0	0	5	19	30	30	40	80	100	70	40	30	20	1	0	0
CUADRANTE III								CUADRANTE IV							
0	0	6	20	32	20	40	80	100	50	40	30	21	4	0	0
0	0	4	18	30	20	30	40	40	20	26	20	16	3	0	0
0	0	0	13	32	30	16	20	16	20	20	16	6	1	0	0
0	0	0	2	30	30	30	20	20	20	16	4	0	0	0	0
0	0	0	0	12	15	14	16	17	12	6	3	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	4	2	1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia.

Simulación con los datos observados, superponiendo los valores obtenidos para el espaciamiento de 24 x 24 m, resultando 64 colectores (n).

Tabla 20. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores.

100	50	46	50	53	24	40	80
40	20	30	38	46	23	30	40
16	20	20	29	38	31	16	20
46	48	39	14	31	41	55	44
37	32	26	19	16	45	34	36
32	31	30	31	25	28	31	44
40	40	30	46	49	31	34	40
100	70	45	49	50	31	40	80

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo los datos de la evaluación, procedemos a aplicar la fórmula de coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC), reemplazando los valores se tiene.

$$n = 64 \qquad C \cup C = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n\bar{x}} \right]$$

$$\sum = 777.64$$

$$\bar{x} = 38.91 \qquad CUC = 69 \%$$

Interpretación:

Teniendo el CUC de 69 % en el aspersor VYR 35, Pendiente 3.8% (ligeramente inclinada), marco de riego 24 x 24 m, nos permite explicar que, si hubiese 100 plantas irrigadas, 69 plantas están recibiendo la misma cantidad de agua por el aspersor VYR 35 y 31 plantas están recibiendo cantidades mayores o menores a la lámina aplicada, pudiendo perjudicar en el rendimiento, de acuerdo al rango de los valores para caracterizar el CUC se encuentra en uniformidad inaceptable.

4.1.1.3 Evaluación N°01, pendiente 10.6% (fuertemente inclinada)

Tabla 21. Características del experimento.

EVALUACION DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE DISTRIBUCION DE AGUA			
N° de prueba:	1	Modelo de aspersor:	VYR 35
Pendiente de terreno (%)	10	Descarga (m ³ /h)	1.65
Fecha de Evaluación:	17/09/202 4	Altura del elevador: (m)	0.8
Inicio de Evaluación Hora:	11:00 a. m.	Espaciamiento de los envases: (m/m)	3 X 3
Término de la evaluación Hora	1:00 p. m.	Presión: (bar)	3.84
Duración:	2 hr	Velocidad de Rotación: (seg/rev)	38
Espaciamiento de aspersores: (m/m)	18 X 18	Humedad Relativa (%)	39
Velocidad del viento: (m/s)	0.98	Temperatura: (°C)	23.15

Fuente: Elaboración propia

a. Marco de riego (cuadrado) 12x12 metros.

Tabla 22. Lectura de los pluviómetros en ml.

CUADRANTE I				CUADRANTE II			
22	24	20	20	21	21	28	55
22	21	25	35	35	25	23	28
23	25	48	69	65	56	31	22
23	36	59	111	105	78	37	26
21	35	57	84	98	65	36	25
21	24	39	53	49	43	31	25
14	22	24	28	28	26	23	26
6	13	19	21	19	20	20	16
CUADRANTE III				CUADRANTE IV			

Fuente: elaboración propia

Simulación con los datos observados, superponiendo los valores obtenidos para el espaciamiento de 12 x 12 m, resultando 16 colectores (n).

Tabla 23. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores

162	145	141	184
127	113	118	141
130	129	126	145
153	147	135	174

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo los datos de la evaluación, procedemos a aplicar la fórmula de coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC), reemplazando los valores se tiene.

$$n = 16 \qquad C \cup C = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n\bar{x}} \right]$$

$$\Sigma = 233.76$$

$$\bar{x} = 141.88 \qquad CUC = 90 \%$$

Interpretación:

Teniendo el CUC de 90 % en el aspersor VYR 35, pendiente 10.6 % (fuertemente inclinada), marco de riego 12 x 12 m, nos permite explicar que, si hubiese 100 plantas irrigadas, 90 plantas están recibiendo la misma cantidad de agua por el aspersor VYR 35 y 10 plantas están recibiendo cantidades mayores o menores a la lámina aplicada.

a. Marco de riego (cuadrado) 18x18metros

Tabla 24. Lectura de los pluviómetros en ml.

CUADRANTE I						CUADRANTE II					
0	0	1	1	2	8	16	16	11	3	0	0
0	1	5	19	29	22	23	29	23	15	2	0
0	7	22	24	20	20	21	21	28	55	15	1
0	13	22	21	25	35	35	25	23	28	24	4
5	16	23	25	48	69	65	56	31	22	23	15
5	17	23	36	59	111	105	78	37	26	23	12
6	21	21	35	57	84	98	65	36	25	25	16
2	8	21	24	39	53	49	43	31	25	21	6
1	4	14	22	24	28	28	26	23	26	16	1
0	2	6	13	19	21	19	20	20	16	6	1
0	1	2	5	7	9	12	12	8	4	0	0
0	0	0	0	3	3	3	2	0	0	0	0
CUADRANTE III						CUADRANTE IV					

Fuente: Elaboración propia

Simulación con los datos observados, superponiendo los valores obtenidos para el espaciamiento de 18 x 18 m, resultando 36 colectores (n).

Tabla 25. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores.

120	102	69	64	84	108
74	81	80	83	91	81
50	58	87	127	75	50
54	60	71	78	74	61
82	85	64	56	78	93
113	97	60	62	85	126

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo los datos de la evaluación, procedemos a aplicar la fórmula de coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC), reemplazando los valores se tiene.

$$\begin{aligned}n &= 36 \\ \Sigma &= 567.16 \\ \bar{x} &= 80.08 \\ C \cup C &= 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n\bar{x}} \right] \\ \text{CUC} &= 80 \%\end{aligned}$$

Interpretación:

Teniendo el CUC de 80 % en el aspersor VYR 35, pendiente 10.6 % (fuertemente inclinada), marco de riego 18 x 18 m, nos permite explicar que, si hubiese 100 plantas irrigadas, 80 plantas están recibiendo la misma cantidad de agua por el aspersor VYR 35 y 20 plantas están recibiendo cantidades mayores o menores a la lámina aplicada.

b. Marco de riego (cuadrado) 24x24 metros

Tabla 26. Lectura de los pluviómetros en ml.

CUADRANTE I								CUADRANTE II							
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	1	2	8	16	16	11	3	0	0	0	0
0	0	0	1	5	19	29	22	23	29	23	15	2	0	0	0
0	0	0	7	22	24	20	20	21	21	28	55	15	1	0	0
0	0	0	13	22	21	25	35	35	25	23	28	24	4	0	0
0	0	5	16	23	25	48	69	65	56	31	22	23	15	0	0
0	0	5	17	23	36	59	111	105	78	37	26	23	12	0	0
0	0	6	21	21	35	57	84	98	65	36	25	25	16	0	0
0	0	2	8	21	24	39	53	49	43	31	25	21	6	0	0
0	0	1	4	14	22	24	28	28	26	23	26	16	1	0	0
0	0	0	2	6	13	19	21	19	20	20	16	6	1	0	0
0	0	0	1	2	5	7	9	12	12	8	4	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	3	3	3	2	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CUADRANTE III								CUADRANTE IV							

Fuente: Elaboración propia

Simulación con los datos observados, superponiendo los valores obtenidos para el espaciamiento de 24 x 24 m, resultando 64 colectores (n).

Tabla 27. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores

98	65	42	46	46	51	57	84
49	43	33	33	42	30	39	53
44	42	35	33	31	24	26	36
42	49	43	34	19	33	48	43
33	33	36	67	39	30	27	29
38	27	23	41	46	25	28	38
65	56	36	38	46	40	48	69
105	78	42	43	46	48	59	111

Fuente: Elaboración propia

Teniendo los datos de la evaluación, procedemos a aplicar la fórmula de coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC), reemplazando los valores se tiene.

$$n = 64 \qquad C \cup C = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n\bar{x}} \right]$$

$$\sum = 817.8$$

$$\bar{x} = 45.05$$

$$CUC = 72 \%$$

Interpretación:

Teniendo el CUC de 72 % en el aspersor VYR 35, pendiente 10.6 % (fuertemente inclinada), marco de riego 24 x 24 m, nos permite explicar que, si hubiese 100 plantas irrigadas, 72 plantas están recibiendo la misma cantidad de agua por el aspersor VYR 35 y 28 plantas están recibiendo cantidades mayores o menores a la lámina aplicada, pudiendo perjudicar el rendimiento.

4.1.1.4 Evaluación N° 02, pendiente 10.6% (fuertemente inclinada)

Tabla 28. Características del experimento.

EVALUACION DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE DISTRIBUCION DE AGUA			
N° de prueba:	2	Modelo de aspersor:	VYR 35
Pendiente de terreno (%)	10.6	Descarga (m ³ /h)	1.63
Fecha de Evaluación:	17/09/2024	Altura del elevador: (m)	0.8
Inicio de Evaluación Hora:	1:00 p. m.	Espaciamiento de los envases: (m/m)	3 X 3
Término de la evaluación Hora	3:00 p. m.	Presión: (bar)	3.84
Duración:	2 hr	Velocidad de Rotación: (seg/rev)	38
Espaciamiento de aspersores: (m/m)	18 X 18	Humedad Relativa (%)	37
Velocidad del viento: (m/s)	1.45	Temperatura: (°C)	23.42

Fuente: elaboración propia

a. Marco de riego (cuadrado) 12x12 metros

Tabla 29. Lectura de los pluviómetros en ml.

CUADRANTE I				CUADRANTE II			
4	4	4	32	4	20	8	4
20	32	40	40	40	32	20	20
48	48	40	40	40	40	40	40
60	40	40	80	104	60	40	32
40	32	40	60	100	160	40	40
40	40	4	32	40	40	20	40
4	60	4	4	4	4	40	40
4	4	32	48	40	40	32	20
CUADRANTE III				CUADRANTE IV			

Fuente: Elaboración propia.

Simulación con los datos observados, superponiendo los valores obtenidos para el espaciamiento de 12 x 12 m, resultando 16 colectores (n).

Tabla 30. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores

148	216	92	136
140	144	84	132
96	152	124	124
208	144	144	180

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo los datos de la evaluación, procedemos a aplicar la fórmula de coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC), reemplazando los valores se tiene.

$$n = 16 \quad C \cup C = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n\bar{x}} \right]$$

$$\sum = 408$$

$$\bar{x} = 141.5 \quad CUC = 82\%$$

Interpretación:

Teniendo el CUC de 82 % en el aspersor VYR 35, pendiente 10.6% (fuertemente inclinada), marco de riego 12 x 12 m, nos permite explicar que, si hubiese 100 plantas irrigadas, 82 plantas están recibiendo la misma cantidad de agua por el aspersor VYR 35 y 8 plantas están recibiendo cantidades mayores o menores a la lámina aplicada.

b. Marco de riego (cuadrado) 18x18 metros

Tabla 31. Lectura de los pluviómetros en ml.

CUADRANTE I						CUADRANTE II					
0	0	1	1	10	15	16	8	3	1	0	0
0	2	5	20	25	23	25	28	24	12	0	0
0	5	4	4	4	32	4	20	8	4	15	1
0	11	20	32	40	40	40	32	20	20	27	15
5	17	48	48	40	40	40	40	40	40	26	15
6	19	60	40	40	80	104	60	40	32	25	16
6	20	40	32	40	60	100	160	40	40	23	14
2	9	40	40	4	32	40	40	20	40	18	6
1	4	4	60	4	4	4	4	40	40	14	1
0	1	4	4	32	48	40	40	32	20	5	1
0	1	2	3	6	8	13	12	8	4	0	0
0	0	1	1	1	1	2	2	1	1	0	0
CUADRANTE III						CUADRANTE IV					

Fuente: Elaboración propia.

Simulación con los datos observados, superponiendo los valores obtenidos para el espaciamiento de 18 x 18 m, resultando 36 colectores (n).

Tabla 32. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores.

122	188	84	74	73	89
67	79	89	112	47	61
9	33	56	108	37	38
80	84	76	76	104	104
58	70	98	95	72	63
112	81	102	74	66	97

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo los datos de la evaluación, procedemos a aplicar la fórmula de coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC), reemplazando los valores se tiene.

$$n = 36 \qquad C \cup C = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n\bar{x}} \right]$$

$$\sum = 779.88$$

$$\bar{x} = 79.9 \qquad CUC = 73\%$$

Interpretación:

Teniendo el CUC de 73 % en el aspersor VYR 35, pendiente 10.6 % (fuertemente inclinada), marco de riego 18 x 18 m, nos permite explicar que, si hubiese 100 plantas irrigadas, 73 plantas están recibiendo la misma cantidad de agua por el aspersor VYR 35 y 27 plantas están recibiendo cantidades mayores o menores a la lámina aplicada, pudiendo perjudicar el rendimiento.

c. Marco de riego (cuadrado) 24x24 metros

Tabla 33. Lectura de los pluviómetros en ml.

CUADRANTE I								CUADRANTE II							
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	1	10	15	16	8	3	1	0	0	0	0
0	0	0	2	5	20	25	23	25	28	24	12	0	0	0	0
0	0	0	5	4	4	4	32	4	20	8	4	15	1	0	0
0	0	0	11	20	32	40	40	40	32	20	20	27	15	0	0
0	0	5	17	48	48	40	40	40	40	40	40	26	15	0	0
0	0	6	19	60	40	40	80	104	60	40	32	25	16	0	0
0	0	6	20	40	32	40	60	100	160	40	40	23	14	0	0
0	0	2	9	40	40	4	32	40	40	20	40	18	6	0	0
0	0	1	4	4	60	4	4	4	4	40	40	14	1	0	0
0	0	0	1	4	4	32	48	40	40	32	20	5	1	0	0
0	0	0	1	2	3	6	8	13	12	8	4	0	0	0	0
0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	1	1	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CUADRANTE III								CUADRANTE IV							

Fuente: Elaboración propia

Simulación con los datos observados, superponiendo los valores obtenidos para el espaciamiento de 24 x 24 m, resultando 64 colectores (n).

Tabla 34. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores

100	160	46	60	63	46	40	60
40	40	22	49	58	46	4	32
20	12	44	45	19	62	14	19
65	68	56	35	14	25	57	71
17	32	16	14	21	8	10	40
42	34	21	32	48	48	41	41
40	40	45	57	74	63	40	40
104	60	46	51	85	56	40	80

Fuente: Elaboración propia

Teniendo los datos de la evaluación, procedemos a aplicar la fórmula de coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC), reemplazando los valores se tiene.

$$n = 64 \quad C \cup C = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n\bar{x}} \right]$$

$$\Sigma = 1159.88$$

$$\bar{x} = 44.97 \quad CUC = 59.70\%$$

Interpretación:

Teniendo el CUC de 59.70 % en el aspersor VYR 35, pendiente 10.6 % (fuertemente inclinada), marco de riego 24 x 24 m, nos permite explicar que, si hubiese 100 plantas irrigadas, 60 plantas están recibiendo la misma cantidad de agua por el aspersor VYR 35 y 40 plantas están recibiendo cantidades mayores o menores a la lámina aplicada, de acuerdo al rango de los valores para caracterizar el CUC se encuentra en uniformidad inaceptable.

4.1.2 Evaluación del coeficiente de uniformidad de distribución del aspersor VYR70.

4.1.2.1 Evaluación N° 01, pendiente 3.8% (ligeramente inclinada)

Tabla 35. Características del experimento

EVALUACION DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE DISTRIBUCION DE AGUA			
N° de prueba:	1	Modelo de aspersor:	VYR 70
Pendiente de terreno (%)	3.8	Descarga (m ³ /h)	2.20
Fecha de Evaluación:	24/09/202	Altura del elevador: (m)	0.8
	4		
Inicio de Evaluación Hora:	10:00 a. m.	Espaciamiento de los envases: (m/m)	3 X 3
Término de la evaluación Hora	12:00 a. m.	Presión: (bar)	4.1
Duración:	2 hr	Velocidad de Rotación: (seg/rev)	48
Espaciamiento de aspersores: (m/m)	18 X 18	Humedad Relativa (%)	42
Velocidad del viento: (m/s)	2.22	Temperatura: (°C)	22.50

Fuente: Elaboración propia

a. Marco de riego (cuadrado)12x12 metros

Tabla 36. Lectura de los pluviómetros en ml.

CUADRANTE I				CUADRANTE II			
2	2	20	20	20	30	30	20
2	30	40	40	30	40	40	30
20	30	60	60	50	80	40	40
30	40	60	60	70	70	70	30
50	30	50	60	70	60	50	30
40	32	30	50	60	40	30	10
16	40	30	30	40	40	20	2
2	2	20	20	20	20	10	2
CUADRANTE III				CUADRANTE IV			

Fuente: elaboración propia.

Simulación con los datos observados, superponiendo los valores obtenidos para el espaciamiento de 12 x 12 m, resultando 16 colectores (n).

Tabla 37. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores.

142	122	150	130
132	142	140	130
126	190	150	132
122	132	160	112

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo los datos de la evaluación, procedemos a aplicar la fórmula de coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC), reemplazando los valores se tiene.

$$n = 16 \quad C \cup C = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n\bar{x}} \right]$$

$$\Sigma = 212.5$$

$$\bar{x} = 138.25 \quad CUC = 90.39\%$$

Interpretación:

Teniendo el CUC de 90.39 % en el aspersor VYR 70, pendiente 3.8 % (ligeramente inclinada), marco de riego 12 x 12 m, nos permite explicar que, si hubiese 100 plantas irrigadas, 90 plantas están recibiendo la misma cantidad de agua por el aspersor VYR 70 y 10 plantas están recibiendo cantidades mayores o menores a la lámina aplicada, pudiendo perjudicar el rendimiento.

b. Marco de riego (cuadrado) 18x18 metros

Tabla 38. Lectura de los pluviómetros en ml.

CUADRANTE I						CUADRANTE II					
0	0	1	2	4	6	5	4	3	2	0	0
0	1	8	19	24	30	16	13	5	9	1	0
4	17	2	2	20	20	20	30	30	20	3	0
18	25	2	30	40	40	30	40	40	30	9	2
23	23	20	30	60	60	50	80	40	40	9	3
30	20	30	40	60	60	70	70	70	30	14	3
31	23	50	30	50	60	70	60	50	30	13	2
25	24	40	32	30	50	60	40	30	10	12	3
14	16	16	40	30	30	40	40	20	2	6	1
2	2	2	2	20	20	20	20	10	2	4	0
0	1	11	19	18	22	19	7	4	3	0	0
0	0	0	0	2	2	1	2	0	0	0	0
CUADRANTE III						CUADRANTE IV					

Fuente: Elaboración propia

Simulación con los datos observados, superponiendo los valores obtenidos para el espaciamiento de 18 x 18 m, resultando 36 colectores (n).

Tabla 39. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores.

106	87	104	64	67	68
101	78	83	70	67	83
78	103	68	64	59	51
70	87	54	64	73	62
92	111	75	92	87	85
101	92	100	70	76	65

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo los datos de la evaluación, procedemos a aplicar la fórmula de coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC), reemplazando los valores se tiene.

$$n = 36 \quad C \cup C = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n\bar{x}} \right]$$

$$\Sigma = 451.78$$

$$\bar{x} = 68.89 \quad CUC = 81.78\%$$

Interpretación:

Teniendo el CUC de 81.78 % en el aspersor VYR 70, pendiente 3.8 % (ligeramente inclinada), marco de riego 18 x 18 m, nos permite explicar que, si hubiese 100 plantas irrigadas, 82 plantas están recibiendo la misma cantidad de agua por el aspersor VYR 70 y 18 plantas están recibiendo cantidades mayores o menores a la lámina aplicada, pudiendo perjudicar el rendimiento.

c. Marco de riego (cuadrado)24x24 metros

Tabla 40.Lectura de los pluviómetros en ml.

CUADRANTE I								CUADRANTE II							
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	2	4	6	5	4	3	2	0	0	0	0
0	0	0	1	8	19	24	30	16	13	5	9	1	0	0	0
0	0	4	17	2	2	20	20	20	30	30	20	3	0	0	0
0	0	18	25	2	30	40	40	30	40	40	30	9	2	0	0
0	0	23	23	20	30	60	60	50	80	40	40	9	3	0	0
0	0	30	20	30	40	60	60	70	70	70	30	14	3	0	0
0	0	31	23	50	30	50	60	70	60	50	30	13	2	0	0
0	0	25	24	40	32	30	50	60	40	30	10	12	3	0	0
0	0	14	16	16	40	30	30	40	40	20	2	6	1	0	0
0	0	2	2	2	2	20	20	20	20	10	2	4	0	0	0
0	0	0	1	11	19	18	22	19	7	4	3	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	2	2	1	2	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CUADRANTE III								CUADRANTE IV							

Fuente: Elaboración propia.

Simulación con los datos observados, superponiendo los valores obtenidos para el espaciamiento de 24 x 24 m, resultando 64 colectores (n).

Tabla 41.Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores

70	60	81	53	63	32	50	60
60	40	55	34	52	35	28	50
45	44	37	20	23	43	30	36
36	33	17	14	15	21	43	50
39	37	38	41	16	21	45	42
31	42	58	55	11	32	14	42
50	80	63	63	29	33	22	60
70	70	100	50	44	43	50	60

Fuente: Elaboración propia

Teniendo los datos de la evaluación, procedemos a aplicar la fórmula de coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC), reemplazando los valores se tiene.

$$n = 64 \qquad C \cup C = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n\bar{x}} \right]$$

$$\Sigma = 908.5$$

$$\bar{x} = 44.64 \qquad CUC = 68.20\%$$

Interpretación:

Teniendo el CUC de 68.20 % en el aspersor VYR 70, pendiente 3.8 % (ligeramente inclinada), marco de riego 24 x 24 m, nos permite explicar que, si hubiese 100 plantas irrigadas, 68 plantas están recibiendo la misma cantidad de agua por el aspersor VYR 70 y 32 plantas están recibiendo cantidades mayores o menores a la lámina aplicada, de acuerdo al rango de los valores para caracterizar el CUC se encuentra en uniformidad inaceptable.

4.1.2.2 Evaluación N°02, pendiente 3.8% (ligeramente inclinada)

Tabla 42. Características del experimento.

EVALUACION DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE DISTRIBUCION DE AGUA			
N° de prueba:	2	Modelo de aspersor:	VYR 70
Pendiente de terreno (%)	3.8	Descarga (m ³ /h)	2.00
Fecha de Evaluación:	24/09/2024	Altura del elevador: (m)	0.8
Inicio de Evaluación Hora:	1:00 a. m.	Espaciamento de los envases: (m/m)	3 X 3
Término de la evaluación Hora	3:00 a. m.	Presión: (bar)	4.1
Duración:	2 hr	Velocidad de Rotación: (seg/rev)	47
Espaciamento de aspersores: (m/m)	18 X 18	Humedad Relativa (%)	46.00
Velocidad del viento: (m/s)	1.98	Temperatura: (°C)	25.10

Fuente: Elaboración propia

a. Marco de riego (cuadrado) 12 x12 metros

Tabla 43. Lectura de los pluviómetros en ml.

CUADRANTE I				CUADRANTE II			
15	23	36	36	31	33	30	20
25	28	24	32	32	12	20	20
26	31	62	88	82	64	23	21
41	50	96	130	100	92	58	21
26	41	101	140	115	93	46	20
20	29	68	111	102	76	28	20
16	23	30	49	36	33	30	30
13	15	22	30	30	35	30	14
CUADRANTE III				CUADRANTE IV			

Fuente: Elaboración propia.

Simulación con los datos observados, superponiendo los valores obtenidos para el espaciamiento de 12 x 12 m, resultando 16 colectores (n).

Tabla 44. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores

187	190	213	216
179	145	140	183
160	151	145	188
184	192	206	195

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo los datos de la evaluación, procedemos a aplicar la fórmula de coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC), reemplazando los valores se tiene.

$$n = 16 \quad C \cup C = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n\bar{x}} \right]$$

$$\sum = 315.48$$

$$\bar{x} = 179.63 \quad CUC = 89.02\%$$

Interpretación:

Teniendo el CUC de 89.02 % en el aspersor VYR 70, pendiente 3.8 % (ligeramente inclinada), marco de riego 12 x 12 m, nos permite explicar que, si hubiese 100 plantas irrigadas, 89 plantas están recibiendo la misma cantidad de agua por el aspersor VYR 70 y 11 plantas están recibiendo cantidades mayores o menores a la lámina aplicada, de acuerdo al rango de los valores para caracterizar el CUC se encuentra en uniformidad excelente.

b. Marco de riego (cuadrado) 18x18 metros

Tabla 45. Lectura de los pluviómetros en ml.

CUADRANTE I						CUADRANTE II					
0	0	0	0	1	1	1	2	2	0	0	0
0	0	6	12	20	28	25	33	14	6	1	0
0	8	15	23	36	36	31	33	30	20	7	0
2	11	25	28	24	32	32	12	20	20	22	1
4	15	26	31	62	88	82	64	23	21	21	14
8	32	41	50	96	130	100	92	58	21	8	16
10	15	26	41	101	140	115	93	46	20	23	20
5	14	20	29	68	111	102	76	28	20	22	7
1	11	16	23	30	49	36	33	30	30	13	0
2	1	13	15	22	30	30	35	30	14	2	0
0	0	11	19	18	22	19	7	4	3	0	0
0	0	0	0	2	2	1	2	0	0	0	0
CUADRANTE III						CUADRANTE IV					

Fuente: Elaboración propia

Simulación con los datos observados, superponiendo los valores obtenidos para el espaciamiento de 18 x 18 m, resultando 36 colectores (n).

Tabla 46. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores.

126	110	74	61	125	161
132	123	68	67	111	146
68	85	91	96	86	85
66	59	88	77	70	63
105	86	64	74	101	124
109	126	99	71	106	148

Fuente: Elaboración propia

Teniendo los datos de la evaluación, procedemos a aplicar la fórmula de coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC), reemplazando los valores se tiene.

$$n = 36 \qquad C \cup C = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n\bar{x}} \right]$$

$$\Sigma = 836.72$$

$$\bar{x} = 95.86 \qquad CUC = 75.75\%$$

Interpretación:

Teniendo el CUC de 75.75 % en el aspersor VYR 70, pendiente 3.8 % (ligeramente inclinada), marco de riego 18 x 18 m, nos permite explicar que, si hubiera 100 plantas irrigadas, 76 plantas están recibiendo la misma cantidad de agua por el aspersor VYR 70 y 24 plantas están recibiendo cantidades mayores o menores a la lámina aplicada, pudiendo perjudicar el rendimiento.

c. Marco de riego (cuadrado) 24x24 metros

Tabla 47. Lectura de los pluviómetros en ml.

CUADRANTE I								CUADRANTE II								
F	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
u	0	0	0	0	0	1	1	1	2	2	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	6	12	20	28	25	33	14	6	1	0	0	
e	0	0	0	8	15	23	36	36	31	33	30	20	7	0	0	
	0	0	2	11	25	28	24	32	32	12	20	20	22	1	0	
n	0	0	4	15	26	31	62	88	82	64	23	21	21	14	0	
	0	0	8	32	41	50	96	130	100	92	58	21	8	16	0	
t	0	0	10	15	26	41	101	140	115	93	46	20	23	20	0	
	0	0	5	14	20	29	68	111	102	76	28	20	22	7	0	
e	0	0	1	11	16	23	30	49	36	33	30	30	13	0	0	
	0	0	2	1	13	15	22	30	30	35	30	14	2	0	0	
:	0	0	0	0	11	19	18	22	19	7	4	3	0	0	0	
	0	0	0	0	0	0	2	2	1	2	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
E	CUADRANTE III								CUADRANTE IV							

laboración propia

Simulación con los datos observados, superponiendo los valores obtenidos para el espaciamiento de 24 x 24 m, resultando 64 colectores (n).

Tabla 48. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores.

98	65	42	46	46	61	101	140
49	43	33	33	42	36	68	111
44	42	35	33	31	23	31	50
42	49	43	34	19	27	42	58
33	33	36	67	39	42	54	58
38	27	23	41	46	29	26	34
65	56	36	38	46	45	62	88
105	78	42	43	46	66	96	130

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo los datos de la evaluación, procedemos a aplicar la fórmula de coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC), reemplazando los valores se tiene.

$$n = 64 \quad C \cup C = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n\bar{x}} \right]$$

$$\Sigma = 1427.88$$

$$\bar{x} = 53.92 \quad CUC = 58.62\%$$

Interpretación:

Teniendo el CUC de 58.62 % en el aspersor VYR 70, pendiente 3.8 % (ligeramente inclinada), marco de riego 24 x 24 m, nos permite explicar que, si hubiese 100 plantas irrigadas, 69 plantas están recibiendo la misma cantidad de agua por el aspersor VYR 70 y 31 plantas están recibiendo cantidades mayores o menores a la lámina aplicada, pudiendo perjudicar el rendimiento.

4.1.2.3 Evaluación N° 01 pendiente de 10.6% (fuertemente inclinada)

Tabla 49. Características del experimento

EVALUACION DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE DISTRIBUCION DE AGUA			
N° de prueba:	1	Modelo de aspersor:	VYR 70
Pendiente de terreno (%)	10.6	Descarga (m ³ /h)	2.22
Fecha de Evaluación:	8/10/2024	Altura del elevador: (m)	0.8
Inicio de Evaluación Hora:	10.00 p. m.	Espaciamento de los envases: (m/m)	3 X 3
Término de la evaluación Hora	12.00 p. m.	Presión: (bar)	3.98
Duración:	2 hr	Velocidad de Rotación: (seg/rev)	46
Espaciamento de aspersores: (m/m)	18 X 18	Humedad Relativa (%)	39.52
Velocidad del viento: (m/s)	2.25	Temperatura: (°C)	22.32

Fuente: Elaboración propia

a. Marco de riego(cuadrado) 12x12 metros

Tabla 50.Lectura de los pluviómetros en ml.

CUADRANTE I				CUADRANTE II			
4	4	4	4	4	4	4	4
4	8	20	48	40	40	4	32
60	32	80	60	60	60	40	40
40	20	60	64	60	60	80	40
40	8	60	60	60	160	88	60
4	60	4	4	80	60	40	72
4	40	40	20	40	40	60	4
4	4	4	40	60	4	4	4
CUADRANTE III				CUADRANTE IV			

Fuente: Elaboración propia.

Simulación con los datos observados, superponiendo los valores obtenidos para el espaciamiento de 12 x 12 m, resultando 16 colectores (n).

Tabla 51. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores.

108	176	156	128
128	168	68	156
164	172	220	124
164	88	148	148

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo los datos de la evaluación, procedemos a aplicar la fórmula de coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC), reemplazando los valores se tiene.

$$n = 16 \quad C \cup C = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n\bar{x}} \right]$$

$$\Sigma = 449$$

$$\bar{x} = 144.75 \quad CUC = 80.61\%$$

Interpretación:

Teniendo el CUC de 80.61 % en el aspersor VYR 70, pendiente 10.6 % (fuertemente inclinada), marco de riego 12 x 12 m, nos permite explicar que, si hubiese 100 plantas irrigadas, 81 plantas están recibiendo la misma cantidad de agua por el aspersor VYR 70 y 19 plantas están recibiendo cantidades mayores o menores a la lámina aplicada, de acuerdo al rango de los valores para caracterizar el CUC se encuentra en uniformidad excelente.

b. Marco de riego (cuadrado) 18x18 metros

Tabla 52. Lectura de los pluviómetros en ml.

CUADRANTE I						CUADRANTE II					
0	0	2	7	17	19	13	5	1	0	0	0
0	8	29	25	24	29	26	27	31	35	0	0
7	22	4	4	4	4	4	4	4	4	3	0
15	19	4	8	48	40	40	40	4	32	11	1
13	15	60	32	60	60	60	60	40	40	19	7
13	19	40	20	64	60	60	60	80	40	21	5
11	14	4	8	60	60	60	160	80	60	16	15
11	13	4	60	4	80	80	60	40	72	9	9
3	6	4	40	20	40	40	40	60	4	7	9
0	2	4	4	40	60	60	4	4	4	7	1
0	0	2	3	9	9	11	5	4	3	2	0
0	0	0	0	1	3	2	2	1	0	0	0
CUADRANTE III						CUADRANTE IV					

Fuente: Elaboración propia.

Simulación con los datos observados, superponiendo los valores obtenidos para el espaciamiento de 18 x 18 m, resultando 36 colectores (n).

Tabla 53. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores

84	179	87	75	93	94
117	108	104	192	37	118
54	72	72	52	34	53
115	65	16	48	106	102
84	80	106	78	90	76
75	81	121	60	86	68

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo los datos de la evaluación, procedemos a aplicar la fórmula de coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC), reemplazando los valores se tiene.

$$n = 36 \quad C \cup C = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n\bar{x}} \right]$$

$$\sum = 1005.76$$

$$\bar{x} = 85.61 \quad CUC = 67.37\%$$

Interpretación:

Teniendo el CUC de 67.37 % en el aspersor VYR 70, pendiente 10.6 % (fuertemente inclinada), marco de riego 18 x 18 m, nos permite explicar que, si hubiese 100 plantas irrigadas, 67 plantas están recibiendo la misma cantidad de agua por el aspersor VYR 70 y 33 plantas están recibiendo cantidades mayores o menores a la lámina aplicada.

c. Marco de riego (cuadrado) 24x24 metros

Tabla 54. Lectura de los pluviómetros en ml.

CUADRANTE I								CUADRANTE II							
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	2	7	17	19	13	5	1	0	0	0	0	0
0	0	0	8	29	25	24	29	26	27	31	35	0	0	0	0
0	0	7	22	4	4	4	4	4	4	4	4	3	0	0	0
0	0	15	19	4	8	48	40	40	40	4	32	11	1	0	0
0	0	13	15	60	32	60	60	60	60	40	40	19	7	0	0
0	0	13	19	40	20	64	60	60	60	80	40	21	5	0	0
0	0	11	14	4	8	60	60	60	160	80	60	16	15	0	0
0	0	11	13	4	60	4	80	80	60	40	72	9	9	0	0
0	0	3	6	4	40	20	40	40	40	60	4	7	9	0	0
0	0	0	2	4	4	40	60	60	4	4	4	7	1	0	0
0	0	0	0	2	3	9	9	11	5	4	3	2	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	3	2	2	1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CUADRANTE III								CUADRANTE IV							

Fuente: Elaboración propia

Simulación con los datos observados, superponiendo los valores obtenidos para el espaciamiento de 24 x 24 m, resultando 64 colectores (n).

Tabla 55. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores.

60	160	91	74	20	23	60	60
80	60	51	85	13	69	4	80
53	45	64	10	13	56	37	59
86	31	35	49	40	30	64	89
15	9	15	29	11	7	13	13
42	42	20	51	15	9	49	43
60	60	53	55	79	39	60	60
60	60	93	59	61	25	64	60

Fuente: Elaboración propia

Teniendo los datos de la evaluación, procedemos a aplicar la fórmula de coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC), reemplazando los valores se tiene.

$$n = 64 \quad C \cup C = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n\bar{x}} \right]$$

$$\Sigma = 1513$$

$$\bar{x} = 48.16 \quad CUC = 50.91\%$$

Interpretación:

Teniendo el CUC de 50.91 % en el aspersor VYR 70, pendiente 10.6 % (fuertemente inclinada), marco de riego 24 x 24 m, nos permite explicar que, si hubiese 100 plantas irrigadas, 51 plantas están recibiendo la misma cantidad de agua por el aspersor VYR 70 y 49 plantas están recibiendo cantidades mayores o menores a la lámina aplicada.

4.1.2.4 Evaluación N° 02, pendiente 10.6% (fuertemente inclinada)

Tabla 56. Características del experimento.

EVALUACION DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE DISTRIBUCION DE AGUA			
N° de prueba:	2	Modelo de aspersor:	VYR 70
Pendiente de terreno (%)	10.6	Descarga (m ³ /h)	2.23
Fecha de Evaluación:	08/10/20 24	Altura del elevador: (m)	0.8
Inicio de Evaluación Hora:	1:00 a. m.	Espaciamiento de los envases: (m/m)	3 X 3
Término de la evaluación Hora	3:00 p. m.	Presión: (bar)	3.98
Duración:	2 hr	Velocidad de Rotación: (seg/rev)	43
Espaciamiento de aspersores: (m/m)	18 X 18	Humedad Relativa (%)	46.20
Velocidad del viento: (m/s)	0.99	Temperatura: (°C)	23.21

Fuente: Elaboración propia

a. Marco de riego (cuadrado) 12x12 metros

Tabla 57. Lectura de los pluviómetros en ml.

CUADRANTE I					CUADRANTE II		
28	22	29	30	33	31	22	13
20	35	50	70	70	48	30	16
30	60	71	81	85	78	43	22
35	63	78	76	80	72	45	25
31	68	71	72	70	69	45	27
33	52	60	60	60	55	30	15
20	30	40	50	42	32	22	11
14	22	25	28	23	16	12	5
CUADRANTE III				CUADRANTE IV			

Fuente: Elaboración propia

Simulación con los datos observados, superponiendo los valores obtenidos para el espaciamiento de 12 x 12 m, resultando 16 colectores (n).

Tabla 58. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores.

162	190	167	142
183	190	170	161
177	200	176	164
152	173	160	134

Fuente: Elaboración propia

Teniendo los datos de la evaluación, procedemos a aplicar la fórmula de coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC), reemplazando los valores se tiene.

$$n = 16 \quad C \cup C = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n\bar{x}} \right]$$

$$\Sigma = 217$$

$$\bar{x} = 168.81 \quad CUC = 91.97\%$$

Interpretación:

Teniendo el CUC de 91.97 % en el aspersor VYR 70, pendiente 10.6 % (fuertemente inclinada), marco de riego 12 x 12 m, nos permite explicar que, si hubiese 100 plantas irrigadas, 92 plantas están recibiendo la misma cantidad de agua por el aspersor VYR 70 y 8 plantas están recibiendo cantidades mayores o menores a la lámina aplicada, de acuerdo al rango de los valores para caracterizar el CUC se encuentra en uniformidad excelente.

b. Marco de riego (cuadrado) 18x18 metros

Tabla 59. Lectura de los pluviómetros en ml.

CUADRANTE I						CUADRANTE II					
0	0	2	6	14	19	11	6	3	0	0	0
1	7	24	30	31	31	31	23	11	4	0	0
9	24	28	22	29	30	33	31	22	13	3	0
20	24	20	35	50	70	70	48	30	16	5	3
15	15	30	60	71	81	85	78	43	22	11	5
21	19	35	63	78	76	80	72	45	25	21	5
16	19	31	68	71	72	70	69	45	27	11	4
17	20	33	52	60	60	60	55	30	15	5	3
9	17	20	30	40	50	42	32	22	11	5	2
3	9	14	22	25	28	23	16	12	5	4	1
0	3	2	3	9	9	11	5	4	3	2	0
0	0	0	0	1	3	2	2	1	0	0	0
CUADRANTE III						CUADRANTE IV					

Fuente: Elaboración propia.

Simulación con los datos observados, superponiendo los valores obtenidos para el espaciamiento de 18 x 18 m, resultando 36 colectores (n).

Tabla 60. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores.

97	94	81	101	96	95
109	105	98	101	96	94
93	104	92	76	77	82
116	97	76	78	84	102
111	101	79	88	93	95
103	93	81	88	100	84

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo los datos de la evaluación, procedemos a aplicar la fórmula de coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC), reemplazando los valores se tiene.

$$n = 36 \quad C \cup C = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n\bar{x}} \right]$$

$$\sum = 296.68$$

$$\bar{x} = 93.33 \quad CUC = 91.17\%$$

Interpretación:

Teniendo el CUC de 91.17% en el aspersor VYR 70, pendiente 10.6 % (fuertemente inclinada), marco de riego 18 x 18 m, nos permite explicar que, si hubiese 100 plantas irrigadas, en 91 plantas están recibiendo la misma cantidad de agua por el aspersor VYR 70 y 9 plantas están recibiendo cantidades mayores o menores a la lámina aplicada.

c. Marco de riego (cuadrado) 24x24 metros

Tabla 61. Lectura de los pluviómetros en ml.

CUADRANTE I								CUADRANTE II							
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	2	6	14	19	11	6	3	0	0	0	0	0
0	0	1	7	24	30	31	31	31	23	11	4	0	0	0	0
0	0	9	24	28	22	29	30	33	31	22	13	3	0	0	0
0	0	20	24	20	35	50	70	70	48	30	16	5	3	0	0
0	0	15	15	30	60	71	81	85	78	43	22	11	5	0	0
0	0	21	19	35	63	78	76	80	72	45	25	21	5	0	0
0	0	16	19	31	68	71	72	70	69	45	27	11	4	0	0
0	0	17	20	33	52	60	60	60	55	30	15	5	3	0	0
0	0	9	17	20	30	40	50	42	32	22	11	5	2	0	0
0	0	3	9	14	22	25	28	23	16	12	5	4	1	0	0
0	0	0	3	2	3	9	9	11	5	4	3	2	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	3	2	2	1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CUADRANTE III								CUADRANTE IV							

Fuente: Elaboración propia.

Simulación con los datos observados, superponiendo los valores obtenidos para el espaciamiento de 24 x 24 m, resultando 64 colectores (n).

Tabla 62. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores.

70	69	61	46	42	72	71	72
60	55	47	35	38	55	60	60
53	38	34	28	27	38	54	69
54	39	27	25	42	53	56	59
44	36	35	43	35	25	38	39
72	50	51	40	25	38	51	73
85	78	58	37	41	65	71	81
80	72	66	44	56	68	78	76

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo los datos de la evaluación, procedemos a aplicar la fórmula de coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC), reemplazando los valores se tiene.

$$n = 64 \quad C \cup C = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n\bar{x}} \right]$$

$$\Sigma = 899$$

$$\bar{x} = 52.50 \quad CUC = 73.24\%$$

Interpretación:

Teniendo el CUC de 73.24 % en el aspersor VYR 70, pendiente 10.6 % (fuertemente inclinada), marco de riego 24 x 24 m, nos permite explicar que, si hubiese 100 plantas irrigadas, 73 plantas están recibiendo la misma cantidad de agua por el aspersor VYR 70 y 27 plantas están recibiendo cantidades mayores o menores a la lámina aplicada, pudiendo perjudicar el rendimiento.

4.1.3 Evaluación del coeficiente de uniformidad de distribución del aspersor F-30

4.1.3.1 Evaluación N°01, pendiente 3.8% (Ligeramente inclinada)

Tabla 63. Características del experimento.

EVALUACION DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE DISTRIBUCION DE AGUA			
N° de prueba:	1	Modelo de aspersor:	F30
Pendiente de terreno (%)	3.8	Descarga (m3/h)	1.80
Fecha de evaluación:	22/10/2024	Altura del elevador: (m)	0.8
Inicio de evaluación hora:	10:00 AM	Espaciamiento de los envases: (m/m)	3 X 3
Término de la evaluación hora	12:00 AM	Presión: (bar)	3.8
Duración:	2 hr	Velocidad de Rotación: (seg/rev)	44
Espaciamiento de aspersores: (m/m)	18 X 18	Humedad Relativa (%)	42.13
Velocidad del viento: (m/s)	1.80	Temperatura: (°C)	22.13

Fuente: Elaboración propia.

a. Marco de riego (cuadrado 12x12 metros)

Tabla 64. Lectura de los pluviómetros en ml.

CUADRANTE I					CUADRANTE II			
F	10	30	44	48	48	40	50	30
	30	50	50	46	52	44	50	50
u	50	50	70	120	140	150	60	50
	60	50	150	130	130	200	110	50
e								
	42	50	110	100	120	144	80	60
n	38	30	80	100	130	72	42	50
	50	30	30	50	48	50	50	20
t	40	50	40	40	50	40	20	4
CUADRANTE III					CUADRANTE IV			

e: Elaboración propia.

Simulación con los datos observados, superponiendo los valores obtenidos para el espaciamiento de 12 x 12 m, resultando 16 colectores (n).

Tabla 65. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores.

220	264	284	238
250	196	222	246
288	280	210	240
280	340	320	224

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo los datos de la evaluación, procedemos a aplicar la fórmula de coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC), reemplazando los valores se tiene.

$$n = 16 \quad C \cup C = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n\bar{x}} \right]$$

$$\Sigma = 522.76$$

$$\bar{x} = 256.38 \quad \text{CUC} = 87.26\%$$

Interpretación:

Teniendo el CUC de 87.26 % en el aspersor F30, pendiente 3.8 % (Ligeramente inclinada), marco de riego 12 x 12 m, nos permite explicar que, si hubiese 100 plantas irrigadas, en 87 plantas están recibiendo la misma cantidad de agua por el aspersor VYR 70 y 13 plantas están recibiendo cantidades mayores o menores a la lámina aplicada.

b. Marco de riego (cuadrado) 18x18 metros

Tabla 66. Lectura de los pluviómetros en ml.

CUADRANTE I						CUADRANTE II					
0	0	0	1	2	3	3	1	2	0	0	0
0	0	3	4	13	24	13	15	18	5	1	0
0	3	10	30	44	48	48	40	50	30	4	2
1	4	30	50	50	46	52	44	50	50	18	5
1	12	50	50	70	120	140	150	60	50	25	13
2	15	60	50	150	130	130	200	110	50	21	15
3	16	42	50	110	100	120	144	80	60	20	15
2	8	38	30	80	100	130	72	42	50	16	9
1	3	50	30	30	50	48	50	50	20	11	4
0	1	40	50	40	40	50	40	20	4	5	1
0	0	3	4	9	12	12	11	6	4	3	0
0	0	0	2	3	3	3	3	3	1	0	0
CUADRANTE III						CUADRANTE IV					

Fuente: Elaboración propia.

Simulación con los datos observados, superponiendo los valores obtenidos para el espaciamiento de 18 x 18 m, resultando 36 colectores (n).

Tabla 67. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores.

126	161	124	111	132	118
145	95	101	89	110	133
97	96	160	110	89	104
103	89	140	154	113	92
153	173	119	108	107	145
135	218	173	103	174	148

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo los datos de la evaluación, procedemos a aplicar la fórmula de coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC), reemplazando los valores se tiene.

$$n = 36 \quad C \cup C = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n\bar{x}} \right]$$

$$\sum = 897.98$$

$$\bar{x} = 126.33 \quad CUC = 80.26\%$$

Interpretación:

Teniendo el CUC de 80.26 % en el aspersor F30, pendiente 3.8 % (Ligeramente inclinada), marco de riego 18 x 18 m, nos permite explicar que, si hubiese 100 plantas irrigadas, en 80 plantas están recibiendo la misma cantidad de agua por el aspersor F30 y 20 plantas están recibiendo cantidades mayores o menores a la lámina aplicada.

c. Marco de riego(cuadrado) 24x24 metros

Tabla 68. Lectura de los pluviómetros en ml.

CUADRANTE I								CUADRANTE II							
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	1	2	3	3	1	2	0	0	0	0	0
0	0	0	0	3	4	13	24	13	15	18	5	1	0	0	0
0	0	3	10	30	44	48	48	40	50	30	4	2	0	0	0
0	0	1	4	30	50	50	46	52	44	50	50	18	5	0	0
0	0	1	12	50	50	70	120	140	150	60	50	25	13	0	0
0	0	2	15	60	50	150	130	130	200	110	50	21	15	0	0
0	0	3	16	42	50	110	100	120	144	80	60	20	15	0	0
0	0	2	8	38	30	80	100	130	72	42	50	16	9	0	0
0	0	1	3	50	30	30	50	48	50	50	20	11	4	0	0
0	0	0	1	40	50	40	40	50	40	20	4	5	1	0	0
0	0	0	0	3	4	9	12	12	11	6	4	3	0	0	0
0	0	0	0	0	2	3	3	3	3	3	1	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CUADRANTE III								CUADRANTE IV							

l

aboración propia.

Simulación con los datos observados, superponiendo los valores obtenidos para el espaciamiento de 24 x 24 m, resultando 64 colectores (n).

Tabla 69. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores.

120	144	83	76	62	65	110	100
130	72	44	58	54	39	80	100
51	51	53	23	61	35	32	53
63	55	38	10	49	55	53	64
60	51	56	37	20	36	53	60
55	47	54	55	48	57	53	49
140	150	61	62	75	63	70	120
130	200	112	65	81	65	150	130

Fuente: Elaboración propia

Teniendo los datos de la evaluación, procedemos a aplicar la fórmula de coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC), reemplazando los valores se tiene.

$$n = 64 \quad C \cup C = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n\bar{x}} \right]$$

$$\Sigma = 1763.4$$

$$\bar{x} = 71.06 \quad CUC = 61.23\%$$

Interpretación:

Teniendo el CUC de 61.23 % en el aspersor F30, pendiente 3.8% (Ligeramente inclinada), marco de riego 24 x 24 m, nos permite explicar que, si hubiese 100 plantas irrigadas, 61 plantas están recibiendo la misma cantidad de agua por el aspersor F30 y 39 plantas están recibiendo cantidades mayores o menores a la lámina aplicada, de acuerdo al rango de los valores para caracterizar el CUC se encuentra en uniformidad inaceptable.

4.1.3.2 Evaluación N°02, pendiente 3.8% (Ligeramente inclinada)

Tabla 70. Características del experimento.

EVALUACION DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE DISTRIBUCION DE AGUA			
N° de prueba:	2	Modelo de aspersor:	F30
Pendiente de terreno (%)	3.8	Descarga (m3/h)	1.78
Fecha de evaluación:	22/10/2024	Altura del elevador: (m)	0.8
Inicio de evaluación hora:	1:00 p. m.	Espaciamento de los envases: (m/m)	3 X 3
Término de la evaluación hora	3:00 p. m.	Presión: (bar)	3.8
Duración:	2 hr	Velocidad de Rotación: (seg/rev)	55
Espaciamento de aspersores: (m/m)	18 X 18	Humedad Relativa (%)	39
Velocidad del viento: (m/s)	1.88	Temperatura: (°C)	24.6

Fuente: Elaboración propia.

a. Marco de riego (cuadrado) 12 x12 metros

Tabla 71. Lectura de los pluviómetros en ml.

CUADRANTE I				CUADRANTE II			
12	28	40	45	45	38	48	28
31	52	51	45	50	42	48	48
48	53	68	115	138	145	59	47
58	55	125	125	125	189	100	46
40	56	100	98	114	150	76	62
36	26	72	97	128	74	41	48
52	25	29	49	45	48	48	18
38	46	38	39	48	38	19	6
CUADRANTE III				CUADRANTE IV			

Fuente: Elaboración propia.

Simulación con los datos observados, superponiendo los valores obtenidos para el espaciamiento de 12 x 12 m, resultando 16 colectores (n).

Tabla 72. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores.

211	272	264	233
245	194	212	238
283	271	204	229
269	328	282	216

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo los datos de la evaluación, procedemos a aplicar la fórmula de coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC), reemplazando los valores se tiene.

$$n = 16 \quad C \cup C = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n\bar{x}} \right]$$

$$\Sigma = 480.88$$

$$\bar{x} = 246.94 \quad CUC = 87.83\%$$

Interpretación:

Teniendo el CUC de 87.83 % en el aspersor F30, pendiente 3.8 % (Ligeramente inclinada), marco de riego 12 x 12 m, nos permite explicar que, si hubiera 100 plantas irrigadas, 88 plantas están recibiendo la misma cantidad de agua por el aspersor F30 y 12 plantas están recibiendo cantidades mayores o menores a la lámina aplicada, de acuerdo al rango de los valores para caracterizar el CUC se encuentra en uniformidad excelente.

b. Marco de riego (cuadrado) 18x18 metros

Tabla 73. Lectura de los pluviómetros en ml.

CUADRANTE I						CUADRANTE II					
0	0	0	2	3	3	3	2	2	0	0	0
0	0	2	3	12	26	14	17	17	4	1	0
0	2	12	28	40	45	45	38	48	28	5	2
1	3	31	52	51	45	50	42	48	48	20	6
2	11	48	53	68	115	138	145	59	47	26	11
2	16	58	55	125	125	125	189	100	46	20	16
3	18	40	56	100	98	114	150	76	62	19	17
3	9	36	26	72	97	128	74	41	48	15	10
1	4	52	25	29	49	45	48	48	18	10	5
0	2	38	46	38	39	48	38	19	6	4	2
0	0	2	5	10	11	10	12	7	3	2	0
0	0	0	1	2	2	4	3	4	2	0	0
CUADRANTE III						CUADRANTE IV					

Fuente: Elaboración propia

Simulación con los datos observados, superponiendo los valores obtenidos para el espaciamiento de 18 x 18 m, resultando 36 colectores (n).

Tabla 74. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores.

120	170	118	120	122	118
145	100	96	81	100	133
91	92	160	99	84	101
99	85	136	152	113	92
150	168	116	108	106	137
131	208	162	104	147	143

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo los datos de la evaluación, procedemos a aplicar la fórmula de coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC), reemplazando los valores se tiene.

$$n = 36 \quad C \cup C = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n\bar{x}} \right]$$

$$\Sigma = 856.36$$

$$\bar{x} = 122.42 \quad CUC = 80.57\%$$

Interpretación:

Teniendo el CUC de 80.57 % en el aspersor F-30, pendiente 3.8% (Ligeramente inclinada), marco de riego 18 x 18 m, nos permite explicar que, si hubiese 100 plantas irrigadas, 81 plantas están recibiendo la misma cantidad de agua por el aspersor F30 y 19 plantas están recibiendo cantidades mayores o menores a la lámina aplicada, pudiendo perjudicar el rendimiento.

c. Marco de riego (cuadrado) 24 x24 metros

Tabla 75. Lectura de los pluviómetros en ml.

CUADRANTE I								CUADRANTE II							
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	2	3	3	3	2	2	0	0	0	0	0
0	0	0	0	2	3	12	26	14	17	17	4	1	0	0	0
0	0	0	2	12	28	40	45	45	38	48	28	5	2	0	0
0	0	1	3	31	52	51	45	50	42	48	48	20	6	0	0
0	0	2	11	48	53	68	115	138	145	59	47	26	11	0	0
0	0	2	16	58	55	125	125	125	189	100	46	20	16	0	0
0	0	3	18	40	56	100	98	114	150	76	62	19	17	0	0
0	0	3	9	36	26	72	97	128	74	41	48	15	10	0	0
0	0	1	4	52	25	29	49	45	48	48	18	10	5	0	0
0	0	0	2	38	46	38	39	48	38	19	6	4	2	0	0
0	0	0	0	2	5	10	11	10	12	7	3	2	0	0	0
0	0	0	0	0	1	2	2	4	3	4	2	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CUADRANTE III								CUADRANTE IV							

Fuente: Elaboración propia.

Simulación con los datos observados, superponiendo los valores obtenidos para el espaciamiento de 24 x 24 m, resultando 64 colectores (n)

Tabla 76. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores.

144	150	79	80	59	73	100	98
128	74	44	57	51	36	72	97
48	50	51	22	62	32	32	52
62	55	36	12	45	51	50	65
55	50	55	33	21	35	50	56
54	45	53	53	51	59	53	47
138	145	61	58	74	64	68	115
125	189	102	62	78	71	125	125

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo los datos de la evaluación, procedemos a aplicar la fórmula de coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC), reemplazando los valores se tiene.

$$n = 64 \quad C \cup C = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n\bar{x}} \right]$$

$$\Sigma = 1674.2$$

$$\bar{x} = 68.86 \quad CUC = 62.01\%$$

Interpretación:

Teniendo el CUC de 62.01 % en el aspersor F30, pendiente 3.8% (Ligeramente inclinada), marco de riego 24 x 24 m, nos permite explicar que, si hubiese 100 plantas irrigadas, 62 plantas están recibiendo la misma cantidad de agua por el aspersor F30 y 38 plantas están recibiendo cantidades mayores o menores a la lámina aplicada, de acuerdo al rango de los valores para caracterizar el CUC se encuentra en uniformidad inaceptable.

4.1.3.3 Evaluación N°01, pendiente 10.6% (Fuertemente inclinada)

Tabla 77. Características del experimento.

EVALUACION DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE DISTRIBUCION DE AGUA			
N° de prueba:	1	Modelo de aspersor:	F30
Pendiente de terreno (%)	10.6	Descarga (m ³ /h)	1.79
Fecha de evaluación:	29/10/2024	Altura del elevador: (m)	0.8
Inicio de evaluación hora:	3:00 p. m.	Espaciamento de los envases: (m/m)	3 X 3
Término de la evaluación hora	5:00 p. m.	Presión: (bar)	3.8
Duración:	2 hr	Velocidad de Rotación: (seg/rev)	51
Espaciamento de aspersores: (m/m)	18 X 18	Humedad Relativa (%)	37.10
Velocidad del viento: (m/s)	1.60	Temperatura: (°C)	23.25

Fuente: Elaboración propia

a. Marco de riego (cuadrado) 12 x 12 metros

Tabla 78. Lectura de los pluviómetros en ml.

CUADRANTE I					CUADRANTE II		
4	40	40	40	40	8	8	8
48	40	40	60	40	40	8	32
60	40	40	100	140	80	60	32
60	40	120	140	120	160	100	40
40	40	120	120	140	220	60	60
40	40	8	20	40	40	60	48
4	4	60	40	60	60	60	4
4	4	4	4	40	20	4	4
CUADRANTE III					CUADRANTE IV		

Fuente: Elaboración propia.

Simulación con los datos observados, superponiendo los valores obtenidos para el espaciamiento de 12 x 12 m, resultando 16 colectores (n)

Tabla 79. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores.

224	308	228	368
168	160	116	160
264	184	220	176
224	224	228	188

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo los datos de la evaluación, procedemos a aplicar la fórmula de coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC), reemplazando los valores se tiene.

$$n = 16 \quad C \cup C = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n\bar{x}} \right]$$

$$\Sigma = 618.5$$

$$\bar{x} = 208.75 \quad \text{CUC} = 81.48\%$$

Interpretación:

Teniendo el CUC de 81.48 % en el aspersor F30, pendiente 10.6 % (Fuertemente inclinada), marco de riego 12 x 12 m, nos permite explicar que, si hubiese 100 plantas irrigadas, 82 plantas están recibiendo la misma cantidad de agua por el aspersor F30 y 8 plantas están recibiendo cantidades mayores o menores a la lámina aplicada, de acuerdo al rango de los valores para caracterizar el CUC se encuentra en uniformidad excelente.

b. Marco de riego (cuadrado) 18x18 metros

Tabla 80. Lectura de los pluviómetros en ml.

CUADRANTE I						CUADRANTE II					
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	2	10	26	22	23	26	22	7	0	0
0	0	4	40	40	40	40	8	8	8	0	0
0	9	48	40	40	60	40	40	8	32	4	0
0	13	60	40	40	100	140	80	60	32	21	2
3	17	60	40	120	140	120	160	100	40	22	2
2	21	40	40	120	160	140	220	60	60	20	3
3	19	40	40	8	20	40	40	60	48	15	2
0	11	4	4	60	40	60	60	60	4	9	1
0	3	4	4	4	4	40	20	4	4	1	0
0	0	11	14	12	19	15	9	5	5	0	0
0	0	0	0	1	4	2	1	0	0	0	0
CUADRANTE III						CUADRANTE IV					

Fuente: Elaboración propia

Simulación con los datos observados, superponiendo los valores obtenidos para el espaciamiento de 18 x 18 m, resultando 36 colectores (n).

Tabla 81. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores.

142	241	100	100	140	163
66	85	124	105	49	44
100	79	76	56	109	81
80	72	64	80	49	64
155	102	136	91	73	121
125	178	160	80	143	146

Fuente: Elaboración propia

Teniendo los datos de la evaluación, procedemos a aplicar la fórmula de coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC), reemplazando los valores se tiene.

$$n = 36 \quad C \cup C = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n\bar{x}} \right]$$

$$\Sigma = 1226.82$$

$$\bar{x} = 104.97 \quad CUC = 67.54\%$$

Interpretación:

Teniendo el CUC de 67.54 % en el aspersor F30, pendiente 10.6 % (Fuertemente inclinada), marco de riego 18 x 18 m, nos permite explicar que, si hubiese 100 plantas irrigadas, 68 plantas están recibiendo la misma cantidad de agua por el aspersor F30 y 32 plantas están recibiendo cantidades mayores o menores a la lámina aplicada, pudiendo perjudicar el rendimiento.

c. Marco de riego(cuadrado) 24x24 metros

Tabla 82. Lectura de los pluviómetros en ml.

CUADRANTE I								CUADRANTE II							
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	2	10	26	22	23	26	22	7	0	0	0	0
0	0	0	0	4	40	40	40	40	8	8	8	0	0	0	0
0	0	0	9	48	40	40	60	40	40	8	32	4	0	0	0
0	0	0	13	60	40	40	100	140	80	60	32	21	2	0	0
0	0	3	17	60	40	120	140	120	160	100	40	22	2	0	0
0	0	2	21	40	40	120	140	220	60	60	20	3	0	0	0
0	0	3	19	40	40	8	20	40	40	60	48	15	2	0	0
0	0	0	11	4	4	60	40	60	60	60	4	9	1	0	0
0	0	0	3	4	4	4	4	40	20	4	4	1	0	0	0
0	0	0	0	11	14	12	19	15	9	5	5	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	4	2	1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CUADRANTE III								CUADRANTE IV							

Fuente: Elaboración propia.

Simulación con los datos observados, superponiendo los valores obtenidos para el espaciamiento de 24 x 24 m, resultando 64 colectores (n).

Tabla 83. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores.

140	220	62	81	60	43	120	160
40	40	63	67	55	42	8	20
60	60	60	15	13	5	60	40
63	46	26	14	7	14	30	26
55	17	13	13	15	54	52	59
42	41	8	41	52	40	41	64
140	80	60	45	81	42	40	100
120	160	103	57	82	42	120	140

Fuente: Elaboración propia

Teniendo los datos de la evaluación, procedemos a aplicar la fórmula de coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC), reemplazando los valores se tiene.

$$n = 64 \quad C \cup C = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n\bar{x}} \right]$$

$$\Sigma = 3779$$

$$\bar{x} = 59.05 \quad CUC = 47.56\%$$

Interpretación:

Teniendo el CUC de 47.56 % en el aspersor F30, pendiente 10.6 % (Fuertemente inclinada), marco de riego 24 x 24 m, nos permite explicar que, si hubiese 100 plantas irrigadas, 48 plantas están recibiendo la misma cantidad de agua por el aspersor F30 y 52 plantas están recibiendo cantidades mayores o menores a la lámina aplicada, pudiendo perjudicar el rendimiento.

4.1.3.4 Evaluación N° 02, pendiente 10.6% (Fuertemente inclinado)

Tabla 84. Características del experimento.

EVALUACION DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE DISTRIBUCION DE AGUA			
N° de prueba:	2	Modelo de aspersor:	F30
Pendiente de terreno (%)	10.6	Descarga (m ³ /h)	1.78
Fecha de evaluación:	29/10/2024	Altura del elevador: (m)	0.8
Inicio de evaluación hora:	1:00 p. m.	Espaciamento de los envases: (m/m)	3 X 3
Término de la evaluación hora	3:00 p. m.	Presión: (bar)	3.7
Duración:	2 hr	Velocidad de Rotación: (seg/rev)	51
Espaciamento de aspersores: (m/m)	18 X 18	Humedad Relativa (%)	35
Velocidad del viento: (m/s)	1.36	Temperatura: (°C)	22.53

Fuente: Elaboración propia.

a. Marco de riego (cuadrado) 12x12 metros

Tabla 85. Lectura de los pluviómetros en ml.

CUADRANTE I				CUADRANTE II			
5	38	38	38	38	7	10	10
46	38	39	50	38	36	10	28
58	36	39	98	120	76	56	28
56	36	110	138	110	150	98	38
38	115	150	138	138	189	58	57
38	36	10	19	37	38	56	45
3	5	52	38	58	58	56	6
3	5	5	6	36	19	6	6
CUADRANTE III				CUADRANTE IV			

Fuente: Elaboración propia.

Simulación con los datos observados, superponiendo los valores obtenidos para el espaciamiento de 12 x 12 m, resultando 16 colectores (n).

Tabla 86. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores.

219	272	221	255
159	148	115	142
239	175	203	170
205	210	219	188

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo los datos de la evaluación, procedemos a aplicar la fórmula de coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC), reemplazando los valores se tiene.

$$n = 16 \quad C \cup C = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n\bar{x}} \right]$$

$$\Sigma = 553.5$$

$$\bar{x} = 196.25 \quad \text{CUC} = 82.37\%$$

Interpretación:

Teniendo el CUC de 82.37 % en el aspersor F30, pendiente 10 % (Fuertemente inclinada), marco de riego 12 x 12 m, nos permite explicar que, si hubiese 100 plantas irrigadas, 82 plantas están recibiendo la misma cantidad de agua por el aspersor F30 y 18 plantas están recibiendo cantidades mayores o menores a la lámina aplicada, de acuerdo al rango de los valores para caracterizar el CUC se encuentra en uniformidad excelente.

b. Marco de riego (cuadrado) 18 x18 metros

Tabla 87. Lectura de los pluviómetros en ml.

CUADRANTE I						CUADRANTE II					
0	0	0	2	3	15	14	12	11	5	0	0
0	0	1	9	27	21	24	25	21	8	0	0
0	0	5	38	38	38	38	7	10	10	0	0
0	10	46	38	39	50	38	36	10	28	5	0
0	12	58	36	39	98	120	76	56	28	20	3
2	18	56	36	110	138	110	150	98	38	21	2
2	20	38	38	115	150	138	189	58	57	19	3
2	18	38	36	10	19	37	38	56	45	14	3
0	10	3	5	52	38	58	58	56	6	10	2
0	2	3	5	5	6	36	19	6	6	2	0
0	0	10	15	13	20	16	10	4	6	0	0
0	0	0	0	2	6	3	2	0	0	0	0
CUADRANTE III						CUADRANTE IV					

Fuente: Elaboración propia.

Simulación con los datos observados, superponiendo los valores obtenidos para el espaciamiento de 18 x 18 m, resultando 36 colectores (n).

Tabla 88. *Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores.*

154	221	107	102	137	168
63	81	116	98	51	43
96	75	74	59	100	78
74	67	65	77	51	56
136	98	128	85	72	121
115	170	154	74	133	146

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo los datos de la evaluación, procedemos a aplicar la fórmula de coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC), reemplazando los valores se tiene.

$$n = 36 \quad C \cup C = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n\bar{x}} \right]$$

$$\Sigma = 1178.50$$

$$\bar{x} = 101.25 \quad CUC = 82.37\%$$

Interpretación:

Teniendo el CUC de 67.67 % en el aspersor F30, pendiente 10.6 % (Fuertemente inclinada), marco de riego 18 x 18 m, nos permite explicar que, si hubiese 100 plantas irrigadas, 68 plantas están recibiendo la misma cantidad de agua por el aspersor F30 y 32 plantas están recibiendo cantidades mayoreso menores a la lámina aplicada, de acuerdo al rango de los valores para caracterizar el CUC se encuentra en uniformidad excelente.

c. Marco de riego(cuadrado) 24x24 metros

Tabla 89. Lectura de los pluviómetros en ml.

CUADRANTE I								CUADRANTE II							
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	2	3	15	14	12	11	5	0	0	0	0
0	0	0	0	1	9	27	21	24	25	21	8	0	0	0	0
0	0	0	0	5	38	38	38	38	7	10	10	0	0	0	0
0	0	0	10	46	38	39	50	38	36	10	28	5	0	0	0
0	0	0	12	58	36	39	98	120	76	56	28	20	3	0	0
0	0	2	18	56	36	110	138	110	150	98	38	21	2	0	0
0	0	2	20	38	38	115	150	138	189	58	57	19	3	0	0
0	0	2	18	38	36	10	19	37	38	56	45	14	3	0	0
0	0	0	10	3	5	52	38	58	58	56	6	10	2	0	0
0	0	0	2	3	5	5	6	36	19	6	6	2	0	0	0
0	0	0	0	10	15	13	20	16	10	4	6	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	2	6	3	2	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CUADRANTE III								CUADRANTE IV							

Fuente: Elaboración propia.

Simulación con los datos observados, superponiendo los valores obtenidos para el espaciamiento de 24 x 24 m, resultando 64 colectores (n).

Tabla 90. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores.

138	189	60	77	57	41	115	150
37	38	58	63	52	39	10	19
72	70	67	21	13	9	55	53
60	44	27	16	6	14	32	27
54	17	14	16	15	53	51	58
41	38	10	38	51	38	41	56
120	76	56	40	78	39	39	98
110	150	100	56	77	38	110	138

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo los datos de la evaluación, procedemos a aplicar la fórmula de coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC), reemplazando los valores se tiene.

$$n = 64 \qquad C \cup C = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n\bar{x}} \right]$$

$$\sum = 1848.2$$

$$\bar{x} = 56.95 \qquad CUC = 49.29\%$$

Interpretación:

Teniendo el CUC de 49.29 % en el aspersor F30, pendiente 10.6 % (Fuertemente inclinada), marco de riego 24 x 24 m, nos permite explicar que, si hubiera 100 plantas irrigadas, 49 plantas están recibiendo la misma cantidad de agua por el aspersor VYR 70 y 51 plantas están recibiendo cantidades mayores o menores a la lámina aplicada, pudiendo perjudicar el rendimiento.

4.2 Evaluación del coeficiente de uniformidad en ladera con 21.5% de pendiente (Moderadamente empinada).

4.2.1 Evaluación N° 06, aspersor VYR 35.

Tabla 91. Características del experimento.

EVALUACION DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE DISTRIBUCION DE AGUA			
N° de prueba:	1	Modelo de aspersor:	VYR 35
Pendiente de terreno (%)	21.50	Descarga (m ³ /h)	1.70
Fecha de Evaluación:	12/11/20 24	Altura del elevador: (m)	0.8
Inicio de Evaluación Hora:	10:00 p. m.	Espaciamiento de los envases: (m/m)	3 X 3
Término de la evaluación Hora	12:00 p. m.	Presión: (bar)	3.6
Duración:	2 hr	Velocidad de Rotación: (seg/rev)	46
Espaciamiento de aspersores: (m/m)	18 X 18	Humedad Relativa (%)	36
Velocidad del viento: (m/s)	2.1	Temperatura: (°C)	21.30

Fuente: Elaboración propia.

a. Marco de riego (cuadrado) 18x18 metros

Tabla 92. Lectura de los pluviómetros en ml.

CUADRANTE I						CUADRANTE II					
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	2	2	3	4	2	1	0	0	0
0	3	4	40	40	32	4	40	32	4	15	1
1	4	32	32	40	40	40	40	32	4	27	15
2	11	40	32	40	40	40	40	40	4	26	15
2	13	40	24	60	60	80	60	40	40	25	16
3	14	4	60	24	80	80	60	40	40	23	14
1	5	4	60	40	4	4	4	40	4	18	6
0	3	4	4	32	32	80	40	32	4	14	1
0	2	4	4	4	40	40	40	4	4	5	1
0	0	1	1	3	3	3	2	2	1	1	0
0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0
CUADRANTE III						CUADRANTE IV					

Fuente: Elaboración propia.

Simulación con los datos observados, superponiendo los valores obtenidos para el espaciamiento de 18 x 18 m, resultando 36 colectores (n).

Tabla 93. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores.

83	74	44	100	47	94
9	11	46	66	60	13
84	86	72	52	101	66
81	86	72	44	76	96
45	53	83	38	70	58
84	74	80	64	85	76

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo los datos de la evaluación, procedemos a aplicar la fórmula de coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC), reemplazando los valores se tiene.

$$n = 36 \quad C \cup C = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n\bar{x}} \right]$$

$$\Sigma = 677.8$$

$$\bar{x} = 65.92 \quad CUC = 71.44\%$$

Interpretación:

Teniendo el CUC de 71.44 % en el aspersor VYR 35, pendiente de 21.5 % (Moderadamente empinada), posición 02 (Angulo de 78°), marco de riego 18 x 18 m, nos permite explicar que, si hubiese 100 plantas irrigadas, 71 plantas están recibiendo la misma cantidad de agua por el aspersor VYR 35 y 29 plantas están recibiendo cantidades mayores

o menores a la lámina aplicada, de acuerdo al rango de los valores para caracterizar el CUC se encuentra en uniformidad aceptable.

4.2.2 Evaluación N°07, aspersor VYR35.

Tabla 94. Características del experimento.

EVALUACION DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE DISTRIBUCION DE AGUA			
N° de prueba:	2	Modelo de aspersor:	VYR 35
Pendiente de terreno (%)	21.50	Descarga (m ³ /h)	1.73
Fecha de evaluación:	12/11/2024	Altura del elevador: (m)	0.8
Inicio de evaluación Hora:	1:00 p. m.	Espaciamiento de los envases: (m/m)	3 X 3
Término de la evaluación Hora	2:00 p. m.	Presión: (bar)	3.6
Duración:	2 hr	Velocidad de Rotación: (seg/rev)	46
Espaciamiento de aspersores: (m/m)	18 X 18	Humedad Relativa (%)	41
Velocidad del viento: (m/s)	1.50	Temperatura: (°C)	22.04

Fuente: Elaboración propia.

a. Marco de riego (cuadrado) 18x18 metros

Tabla 95. Lectura de los pluviómetros en ml.

CUADRANTE I						CUADRANTE II					
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	3	2	3	5	4	2	0	0	0
0	4	5	15	17	26	19	26	11	3	0	1
2	5	16	20	24	13	19	23	29	15	4	15
3	9	21	20	14	10	19	27	19	19	4	15
3	14	21	27	38	72	78	46	26	16	5	2
4	114	25	35	68	112	110	46	33	13	6	2
3	5	22	27	41	52	45	33	23	9	4	2
0	3	11	19	22	50	24	19	10	4	2	2
0	2	5	13	12	12	7	9	4	4	5	0
0	0	1	2	5	5	4	3	3	2	0	0
0	0	0	0	0	2	3	2	0	0	0	0
CUADRANTE III						CUADRANTE IV					

Fuente: Elaboración propia.

Simulación con los datos observados, superponiendo los valores obtenidos para el espaciamiento de 18 x 18 m, resultando 36 colectores (n)

Tabla 96. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores.

114	60	58	48	74	114
53	42	48	39	47	57
43	52	37	41	41	79
28	39	54	52	45	40
26	39	44	43	23	30

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo los datos de la evaluación, procedemos a aplicar la fórmula de coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC), reemplazando los valores se tiene.

$$n = 36 \quad C \cup C = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n\bar{x}} \right]$$

$$\sum = 527.4$$

$$\bar{x} = 51.81 \quad CUC = 71.72\%$$

Interpretación:

Teniendo el CUC de 71.72 % en el aspersor VYR 35, pendiente de 21.5 % (Moderadamente empinada), marco de riego 18 x 18 m, nos permite explicar que, si hubiese 100 plantas irrigadas, 72 plantas están recibiendo la misma cantidad de agua por el aspersor VYR 35 y 28 plantas están recibiendo cantidades mayores o menores a la lámina aplicada, de acuerdo al rango de los valores para caracterizar el CUC se encuentra en uniformidad aceptable.

4.2.3 Evaluación N° 07, aspersor F-30

Tabla 97. Características del experimento.

EVALUACION DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE DISTRIBUCION DE AGUA			
N° de prueba:	1	Modelo de aspersor:	F30
Pendiente de terreno (%)	21.50	Descarga (m ³ /h)	1.50
Fecha de evaluación:	19/11/2024	Altura del elevador: (m)	0.8
Inicio de evaluación Hora:	10:00 a. m.	Espaciamiento de los envases: (m/m)	3 X 3
Término de la evaluación Hora	12:00 p. m.	Presión: (bar)	3.4
Duración:	2 hr	Velocidad de Rotación: (seg/rev)	42
Espaciamiento de aspersores: (m/m)	18 X 18	Humedad Relativa (%)	46
Velocidad del viento: (m/s)	1.90	Temperatura: (°C)	21.30

Fuente: Elaboración propia.

a. Marco de riego (cuadrado) 18 x18 metros

Tabla 98. Lectura de los pluviómetros en ml.

CUADRANTE I						CUADRANTE II					
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	2	10	16	17	20	24	20	6	0	0
0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	0	0
0	8	16	4	2	16	16	20	2	10	4	0
0	6	4	30	60	30	40	30	20	20	16	2
2	15	20	32	20	70	50	50	50	20	15	1
1	12	2	70	60	90	140	130	30	40	19	3
2	13	2	2	20	40	20	16	40	20	13	4
0	11	2	2	2	2	2	80	2	2	5	2
0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0	0
0	0	10	9	8	5	9	8	2	1	0	0
0	0	0	0	1	4	2	1	0	0	0	0
CUADRANTE III						CUADRANTE IV					

Fuente: Elaboración propia.

Simulación con los datos observados, superponiendo los valores obtenidos para el espaciamiento de 18 x 18 m, resultando 36 colectores (n).

Tabla 99. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores.

141	142	32	110	79	93
42	53	64	38	49	61
4	93	8	8	9	6
18	32	22	18	8	18
49	44	36	60	84	37
54	66	70	52	36	75

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo los datos de la evaluación, procedemos a aplicar la fórmula de coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC), reemplazando los valores se tiene.

$$n = 36 \quad C \cup C = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n\bar{x}} \right]$$

$$\sum = 984.24$$

$$\bar{x} = 50.31 \quad CUC = 45.65\%$$

Interpretación:

Teniendo el CUC de 45.65 % en el aspersor F-30, pendiente de 21.50 % (Moderadamente empinada) posición 01 (perpendicular al terreno), marco de riego 18 x 18 m, nos permite explicar que, si hubiese 100 plantas irrigadas, 46 plantas están recibiendo la misma cantidad de agua por el aspersor F30 y 54 plantas están recibiendo cantidades mayores o menores a la lámina aplicada, pudiendo perjudicar el rendimiento.

5.2.4 Evaluación N°08 aspersor F-30

Tabla 100. Características del experimento.

EVALUACION DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE DISTRIBUCION DE AGUA			
N° de prueba:	2	Modelo de aspersor:	F 30
Pendiente de terreno (%)	21.50	Descarga (m3/h)	1.50
Fecha de evaluación:	19/11/2024	Altura del elevador: (m)	0.8
Inicio de evaluación Hora:	1:00 a. m.	Espaciamiento de los envases: (m/m)	3 X 3
Término de la evaluación Hora	3:00 a. m.	Presión: (bar)	3.4
Duración:	2 hr	Velocidad de Rotación: (seg/rev)	42
Espaciamiento de aspersores: (m/m)	18 X 18	Humedad Relativa (%)	38
Velocidad del viento: (m/s)	1.80	Temperatura: (°C)	22.56

Fuente: Elaboración propia.

a. Marco de riego (cuadrado) 18 x 18 metros.

Tabla 101. Lectura de los pluviómetros en ml.

CUADRANTE I						CUADRANTE II					
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	3	12	18	19	22	28	22	5	0	0
0	0	4	4	4	4	2	6	6	8	0	0
0	6	18	6	6	18	19	4	5	10	6	0
0	5	8	32	61	32	33	26	21	21	18	3
3	13	21	34	25	68	69	49	49	19	17	2
2	13	4	74	58	92	94	28	28	39	21	4
3	12	6	6	21	38	39	39	36	18	12	3
0	10	8	8	4	4	4	4	8	4	6	2
0	1	4	6	4	2	6	2	4	2	0	0
0	0	11	10	8	7	10	9	4	2	0	0
0	0	0	0	2	6	3	2	0	0	0	0
CUADRANTE III						CUADRANTE IV					

Fuente: Elaboración propia.

Simulación con los datos observados, superponiendo los valores obtenidos para el espaciamiento de 18 x 18 m, resultando 36 colectores (n).

Tabla 102. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores.

96	41	32	113	79	96
64	79	67	41	51	60
6	20	26	24	14	10
25	13	31	24	16	20
43	40	44	65	87	42
75	64	70	53	44	76

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo los datos de la evaluación, procedemos a aplicar la fórmula de coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC), reemplazando los valores se tiene.

$$n = 36 \quad C \cup C = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n\bar{x}} \right]$$

$$\Sigma = 833.56$$

$$\bar{x} = 48.64 \quad CUC = 52.40\%$$

Interpretación:

Teniendo el CUC de 52.40 % en el aspersor F 30, pendiente de 21.5 % (Moderadamente empinada), posición 02 (Angulo de 78°), marco de riego 18 x 18 m, nos permite explicar que, si hubiese 100 plantas irrigadas, 85 plantas estánrecibiendo la misma cantidad de agua por el aspersor F30 y 48 plantas estánrecibiendo cantidades mayores o menores a la lámina aplicada, pudiendo perjudicar el rendimiento.

4.2.4 Evaluación N°09, aspersor VYR 70.

Tabla 103. Características del experimento

EVALUACION DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE DISTRIBUCION DE AGUA			
N° de prueba:	1	Modelo de aspersor:	VYR 70
Pendiente de terreno (%)	21.50	Descarga (m ³ /h)	2.23
Fecha de evaluación:	26/11/2024	Altura del elevador: (m)	0.8
Inicio de Evaluacion Hora:	11:00 a. m.	Espaciamento de los envases: (m/m)	3 X 3
Término de la evaluación Hora	1:00 p. m.	Presión: (bar)	3.3
Duración:	2 hr	Velocidad de Rotación: (seg/rev)	39
Espaciamento de aspersores: (m/m)	18 X 18	Humedad Relativa (%)	42
Velocidad del viento: (m/s)	2.12	Temperatura: (°C)	22.50

Fuente: Elaboración propia.

a. Marco de riego (cuadrado) 18x18 metros

Tabla 104. Lectura de los pluviómetros en ml.

CUADRANTE I						CUADRANTE II					
0	0	0	0	1	2	3	3	1	0	0	0
0	0	2	4	16	15	19	18	21	6	1	0
0	2	4	40	40	40	40	32	4	4	5	1
1	5	60	40	4	100	80	80	60	4	19	5
2	13	60	4	120	60	80	60	80	60	27	16
3	15	100	32	80	100	100	80	60	60	23	15
4	17	4	80	4	100	80	60	80	60	22	15
3	9	4	80	40	4	80	60	40	40	26	9
2	1	4	4	40	40	40	40	40	4	13	8
0	2	4	4	4	4	40	4	4	4	7	3
0	0	3	6	9	13	15	16	9	4	2	0
0	0	0	0	2	3	3	3	3	1	0	0
CUADRANTE III						CUADRANTE IV					

Fuente: Elaboración propia.

Simulación con los datos observados, superponiendo los valores obtenidos para el espaciamiento de 18 x 18 m, resultando 36 colectores (n).

Tabla 105. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores.

87	80	85	140	27	117
102	87	67	130	83	28
82	75	52	52	98	89
121	91	128	52	34	112
97	89	152	74	158	89
106	98	163	93	105	118

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo los datos de la evaluación, procedemos a aplicar la fórmula de coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC), reemplazando los valores se tiene.

$$n = 36 \quad C \cup C = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n\bar{x}} \right]$$

$$\Sigma = 902.44$$

$$\bar{x} = 93.36 \quad CUC = 73.15\%$$

Interpretación:

Teniendo el CUC de 73.15 % en el aspersor VYR 70, pendiente de 21.50 % (Moderadamente empinada) posición 01 (perpendicular al terreno), marco de riego 18 x 18 m, nos permite explicar que, si hubiese 100 plantas irrigadas, 73 plantas están recibiendo la misma cantidad de agua por el aspersor VYR 70 y 27 plantas están recibiendo cantidades mayores o menores a la lámina aplicada.

4.2.5 Evaluación N° 10, aspersor VYR70.

Tabla 106. Características del experimento.

EVALUACION DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE DISTRIBUCION DE AGUA			
N° de prueba:	2	Modelo de aspersor:	VYR 70
Pendiente de terreno (%)	21.50	Descarga (m3/h)	2.24
Fecha de evaluación:	12/05/2018	Altura del elevador: (m)	0.8
Inicio de evaluación hora:	1:00 a. m.	Espaciamiento de los envases: (m/m)	3 X 3
Término de la evaluación hora	3:00 p. m.	Presión: (bar)	3.3
Duración:	2 hr	Velocidad de Rotación: (seg/rev)	39
Espaciamiento de aspersores: (m/m)	18 X 18	Humedad Relativa (%)	27
Velocidad del viento: (m/s)	2.30	Temperatura: (°C)	22.31

Fuente: Elaboración propia.

a. Marco de riego (cuadrado) 18x18 metros

Tabla 107. Lectura de los pluviómetros en ml.

CUADRANTE I						CUADRANTE II					
0	0	2	6	14	19	11	6	3	0	0	0
0	0	2	5	14	18	20	17	20	5	1	0
0	1	5	27	26	23	22	23	25	19	6	2
1	4	20	31	20	23	24	20	20	21	20	8
1	15	28	27	34	41	41	48	31	21	28	15
2	16	30	38	72	78	61	56	45	23	22	14
16	19	31	68	71	72	70	69	45	27	11	4
2	8	26	35	70	86	84	73	42	25	27	8
1	2	21	25	34	52	55	45	31	20	14	7
0	2	7	16	22	24	24	25	21	5	8	3
0	0	4	7	8	11	16	17	7	6	2	0
0	0	0	0	1	2	2	2	3	1	0	0
CUADRANTE III						CUADRANTE IV					

Fuente: Elaboración propia.

Simulación con los datos observados, superponiendo los valores obtenidos para el espaciamiento de 18 x 18 m, resultando 36 colectores (n).

Tabla 108. Suma de los valores superpuestos, simulación con 4 aspersores.

108	97	83	81	109	115
106	98	90	70	112	112
78	71	82	91	80	84
49	51	68	73	70	58
58	80	70	61	72	67
65	74	78	62	95	94

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo los datos de la evaluación, procedemos a aplicar la fórmula de coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC), reemplazando los valores se tiene.

$$n = 36 \quad C \cup C = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n\bar{x}} \right]$$

$$\sum = 525.56$$

$$\bar{x} = 80.89 \quad CUC = 81.95\%$$

Interpretación:

Teniendo el CUC de 81.95 % en el aspersor VYR 70, pendiente de 21.50 % (Moderadamente empinada), posición 02 (Angulo de 78°), marco de riego 18 x 18 m, nos permite explicar que, si hubiera 100 plantas irrigadas, 82 plantas están recibiendo la misma cantidad de agua por el aspersor VYR 70 y 18 plantas están recibiendo cantidades mayores o menores a la lámina aplicada, de acuerdo al rango de los valores para caracterizar el CUC se encuentra en uniformidad aceptable.

5.1 Síntesis de los resultados de la evaluación de coeficiente de uniformidad de distribución de agua.

5.1.1 Resultados de coeficiente de uniformidad en ladera.

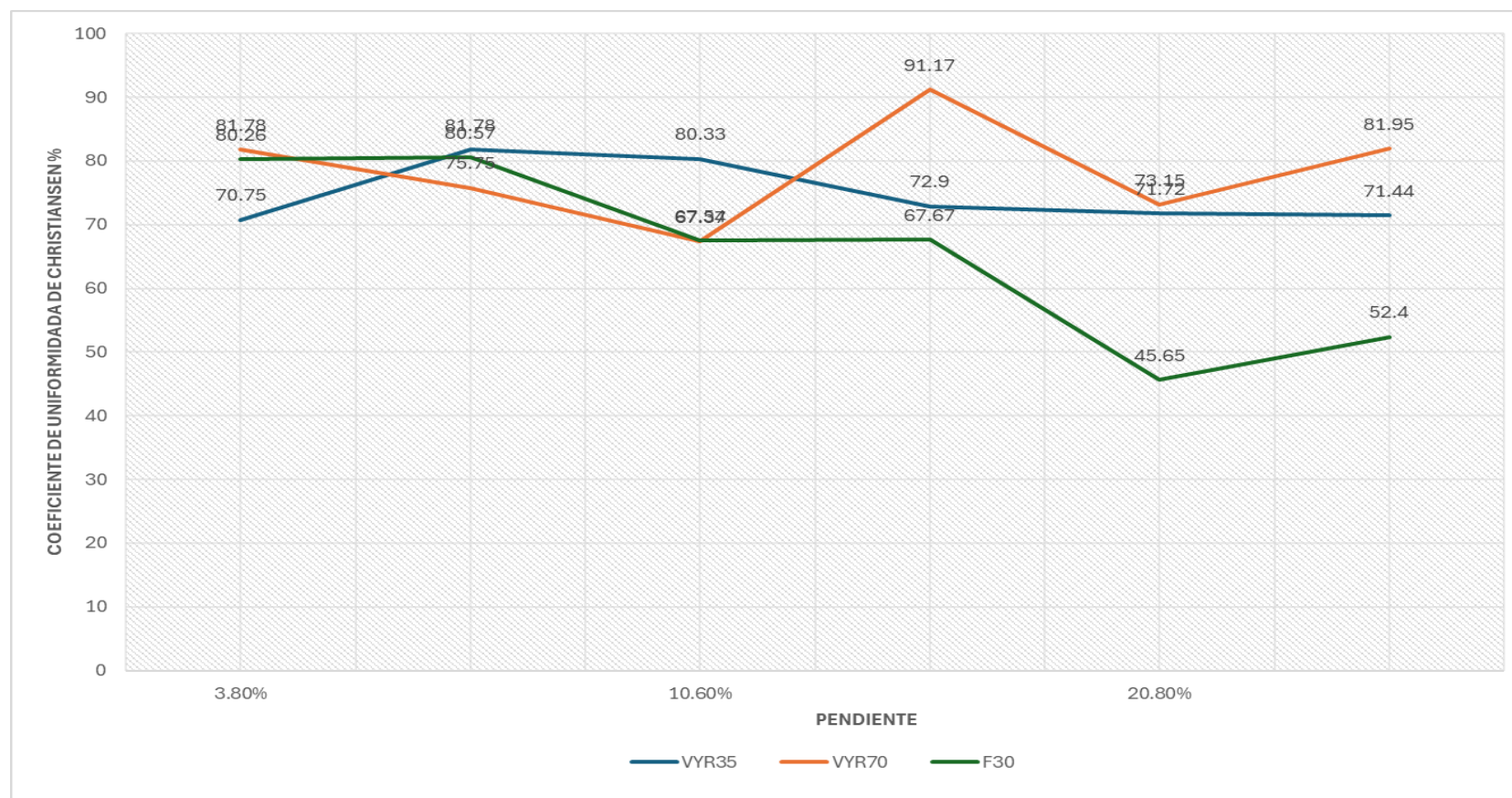
La síntesis de los resultados se realizó para los tres modelos de aspersores, tres pendientes de terreno y en marcos de riego cuadrado 18 X 18 m.

Tabla 109. Resultados del coeficiente de uniformidad en ladera, en cinco modelos de aspersores y tres pendientes enMarco de riego de 18 x 18 m.

ASPERSOR	DIAMETRO BOQUILLA	PENDIENTE (%)	Nº PRUEBA	PRESION (bar)	CAUDAL (m3/h)	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD	VELOCIDAD DE VIENTO	TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD RELATIVA (%)
						18 X 18	(m/s)		
VYR 35	4.0 x 2.4 mm	3.8	1	3.85	1.68	70.75	1.9	23.20	42.00
			2	3.85	1.65	81.78	1.42	24.63	41.00
		10.6	1	3.84	1.65	80.33	0.98	23.15	39.00
			2	3.84	1.63	72.9	1.45	23.42	37.00
		21.5	1	3.6	1.70	71.72	2.1	21.30	36.00
			2	3.6	1.73	71.44	1.5	22.04	41.00
VYR 70	4.8 x 3.1 mm	3.8	1	4.1	2.20	81.78	2.22	22.50	42.00
			2	4.1	2.00	75.75	1.98	25.10	46.00
		10.6	1	3.98	2.22	67.37	2.25	22.32	39.52
			2	3.98	2.24	91.17	0.99	23.21	46.20
		21.5	1	3.3	2.23	73.15	2.12	21.20	42.00
			2	3.3	2.24	81.95	2.3	22.31	27.00
F30	4.0 x 2.4 mm	3.8	1	3.8	1.80	80.26	1.8	22.13	42.13
			2	3.8	1.78	80.57	1.88	24.62	39.00
		10.6	1	3.7	1.79	67.54	1.6	23.25	37.10
			2	3.7	1.78	67.67	1.36	22.53	35.00
		21.5	1	3.4	1.50	45.65	1.9	21.30	46.00
			2	3.4	1.50	52.4	1.8	22.56	38.00

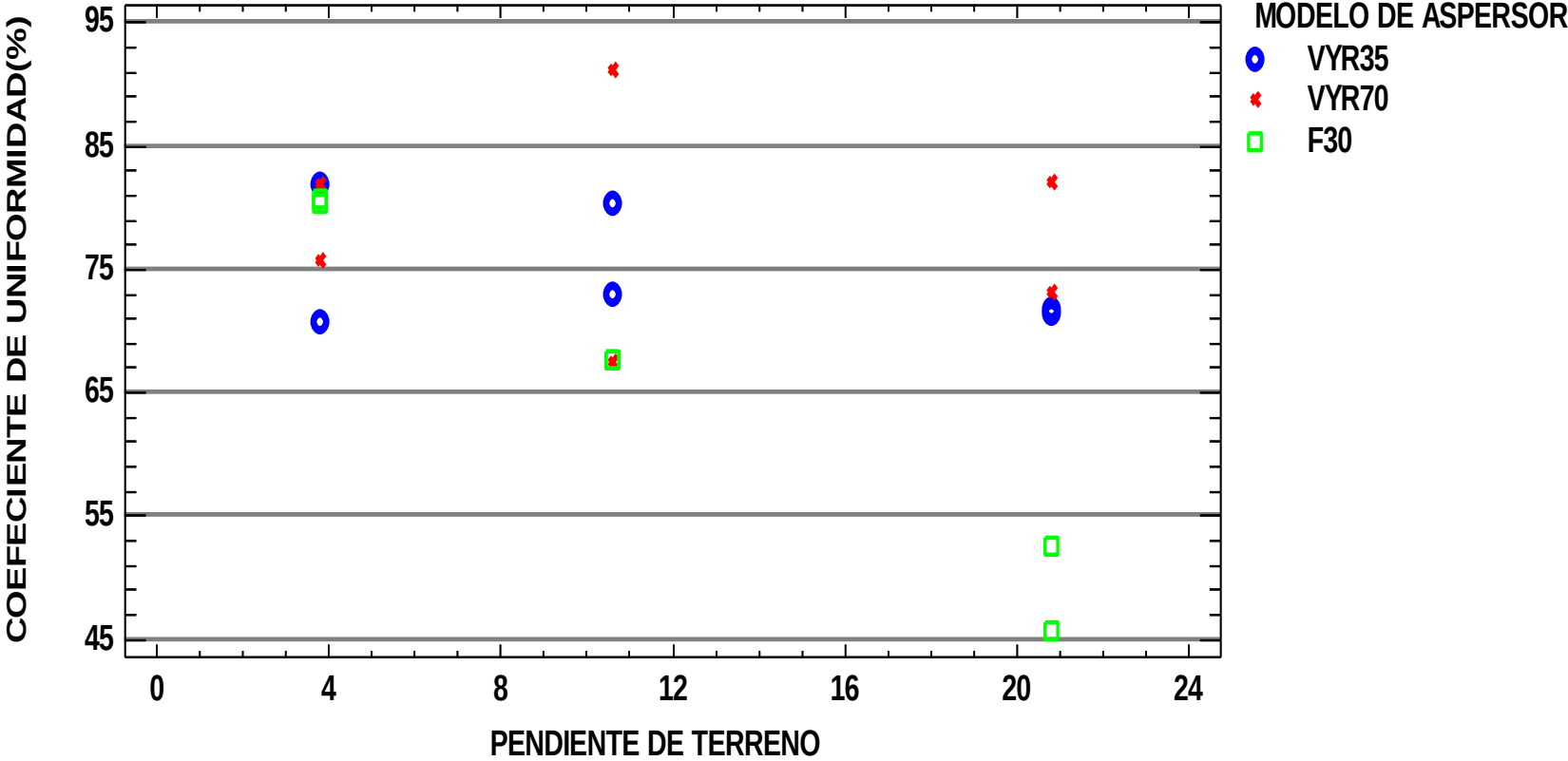
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 1. Resultados del coeficiente de uniformidad en ladera, en cinco modelos de aspersores y tres pendientes en marco de riego de 18 x 18 m.



Fuente: Elaboración propia

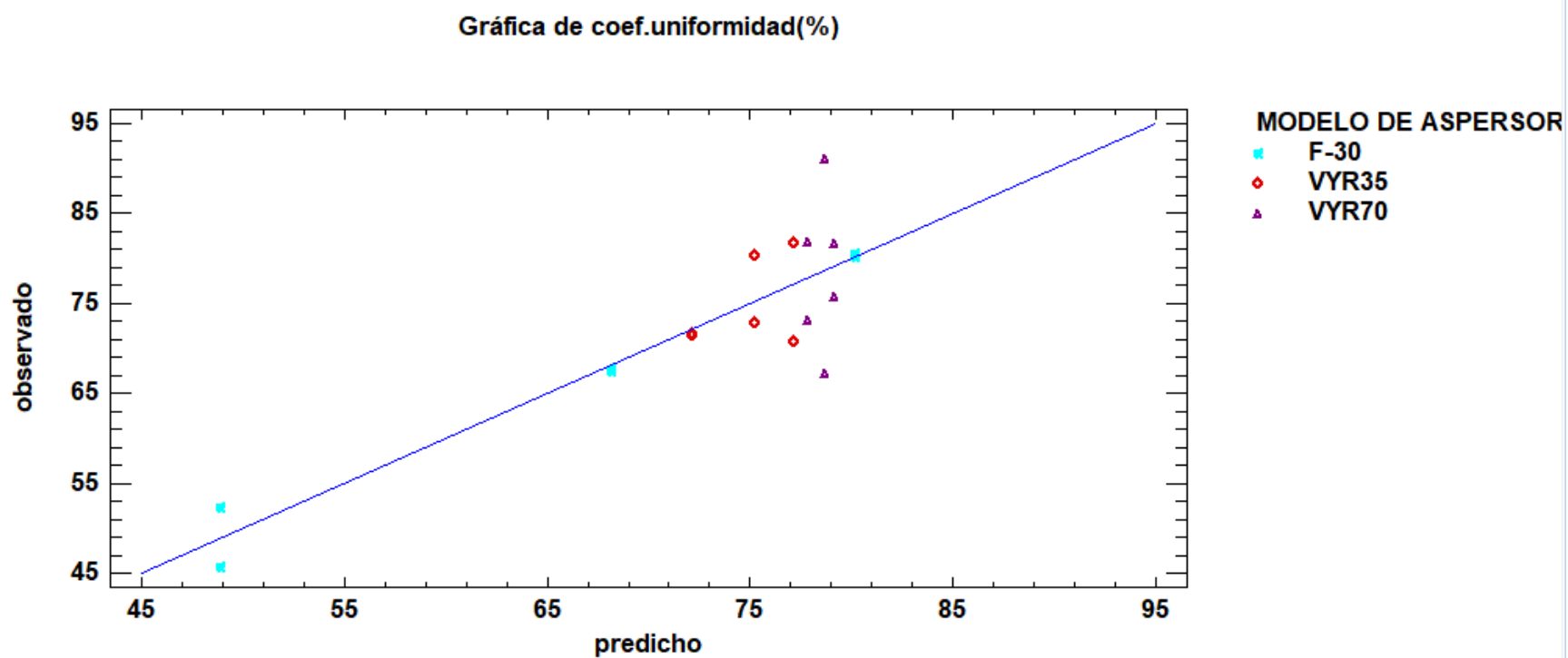
Gráfico 2. Grafica modelo ajustado.



Fuente: Software Statgraphics

En el gráfico N° 02, del modelo ajustado se observa los resultados del coeficiente de uniformidad para cada aspersor con respecto a la pendiente de terreno, teniendo los valores más altos el aspersor VYR 70 y los más bajos el aspersor F30.

Gráfico 3. Coeficiente de uniformidad observado versus predicho por modelo de aspersor



Fuente: Software Statgraphics.

5.2 Interpretación de los resultados

5.2.1 Comparación de líneas de regresión por modelo de aspersor

La comparación de líneas de regresión se realizó del coeficiente de uniformidad versus pendiente de terreno por modelo de aspersor.

Tabla 110. Análisis de Varianza.

Análisis de Varianza					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón - F	Valor - P
Modelo	480.951	1	480.951	5.04	0.0392
Residuo	1526.25	16	95.3904		
Total(corr.)	2007.2	17			

Fuente: Elaboración propia

Interpretación

Dado que el valor-P obtenido en la tabla ANOVA es inferior a 0.05, se concluye que existe una relación estadísticamente significativa entre las variables, con un nivel de confianza del 95%.

5.2.2 Relación del coeficiente de uniformidad con la intensidad del viento.

Se elaboro la prueba estadística ANOVA Simple para comprobar si existe la variación del coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC) con respecto a la velocidad de viento en las evaluaciones realizadas en tres modelos de aspersores y tres pendientes de terreno.

Tabla 111. ANOVA para coeficiente de uniformidad de Christiansen (%) por velocidad de viento (m/s).

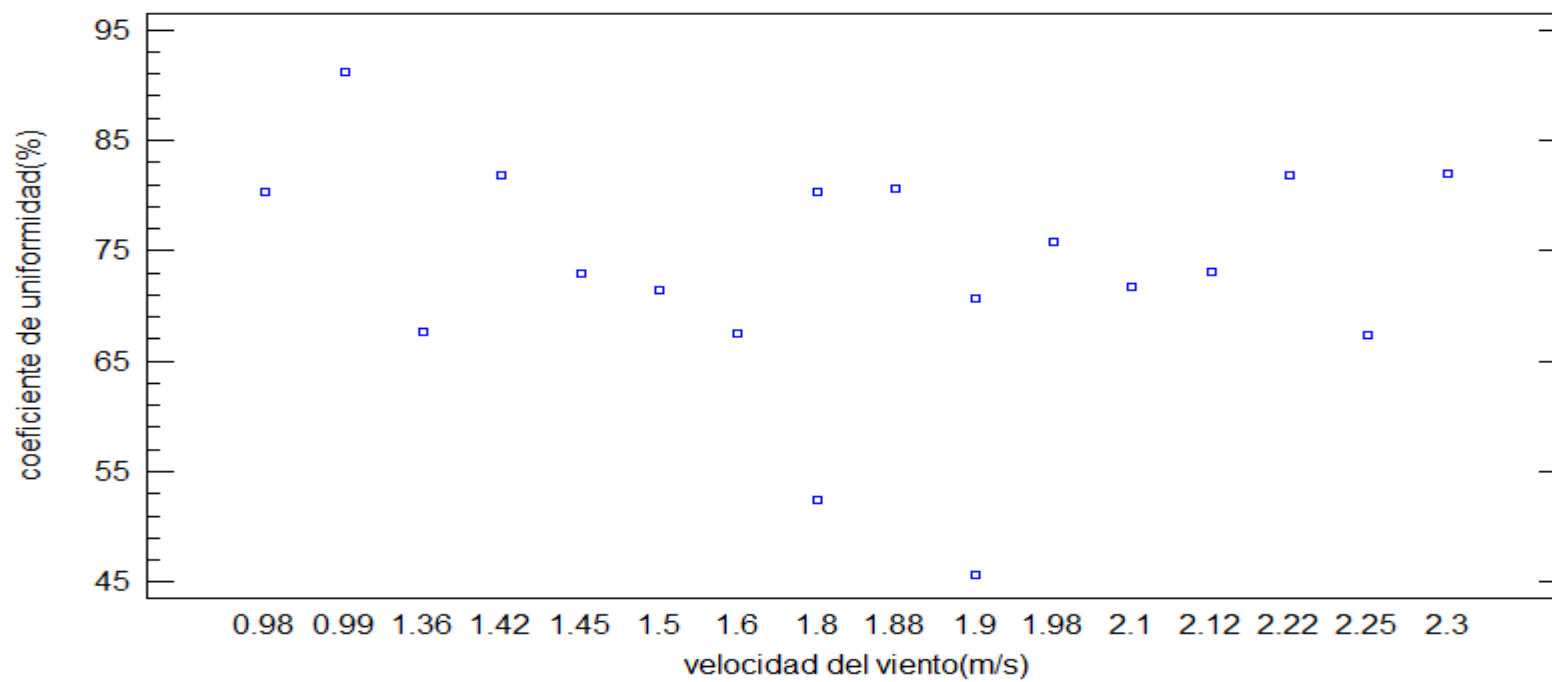
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón - F	Valor - P
Entre grupos	1304.1	15	86.9402	0.25	0.9606
Intra grupos	703.095	2	351.547		
Total(corr.)	2007.2	17			

Fuente: Statgraphics

Interpretación

La tabla ANOVA divide la varianza del Coeficiente de Uniformidad en dos componentes: uno correspondiente a la variabilidad entre los grupos y otro a la variabilidad dentro de los grupos. La razón-F, que en este caso es 0.247307, se calcula como el cociente entre la varianza entre grupos y la varianza dentro de grupos. Dado que el valor-P asociado a esta razón-F es mayor o igual a 0.05, no se evidencia una diferencia estadísticamente significativa en la media del Coeficiente de Uniformidad entre los diferentes niveles de velocidad del viento, con un nivel de confianza del 95%.

Gráfico 4. Dispersión por Código de Nivel.



Fuente: Software Statgraphics.

5.2.3 Comparación de líneas de regresión por pendiente de terreno.

Variable dependiente: **Coeficiente de Uniformidad**

Variable independiente : **Velocidad de viento**

Códigos de Nivel : **Pendiente de terreno**

Tabla 112. Análisis de Varianza.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón - F	Valor - P
Modelo	100.871	1	100.871	0.85	0.3712
Residuo	1906.33	16	119.145		
Total(corr.)	2007.2	17			

Fuente: Software Statgraphics.

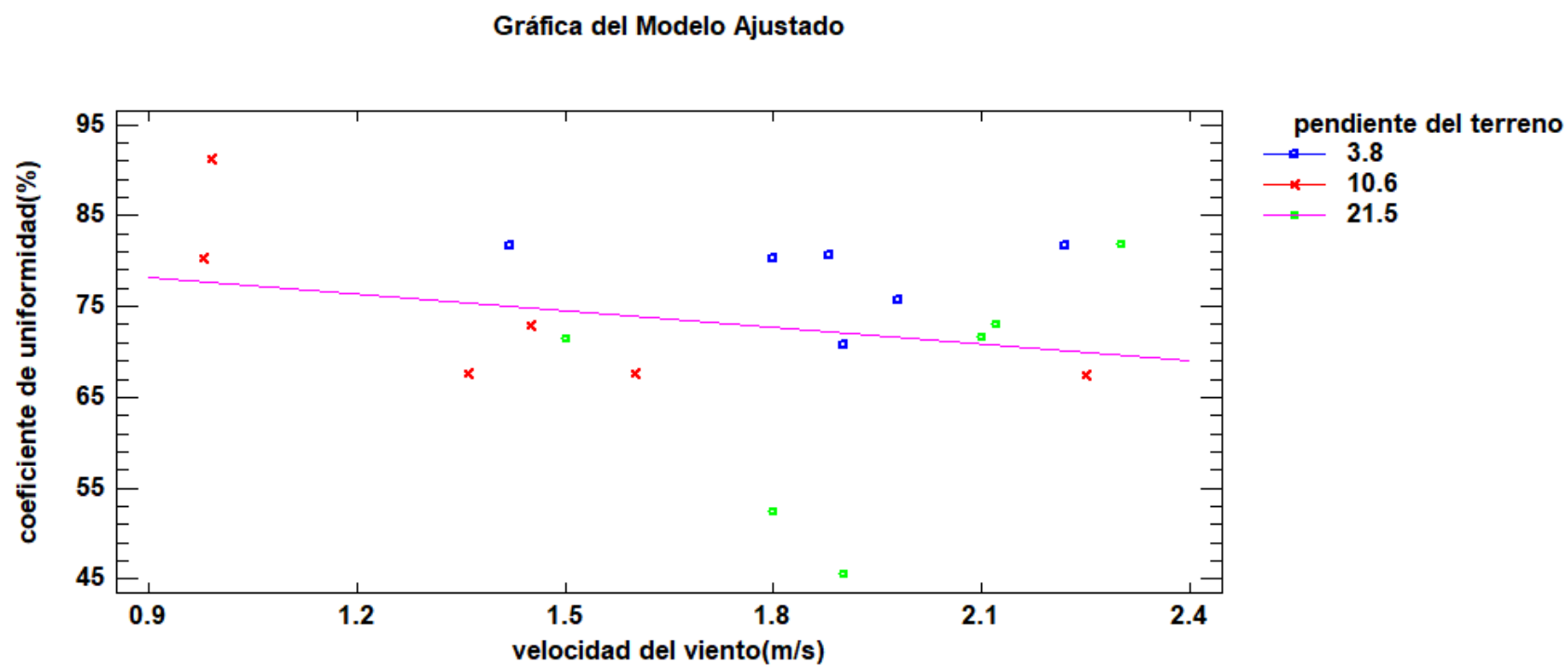
Interpretación:

Dado que el valor-P en la tabla ANOVA es igual o superior a 0.05, no se evidencia una relación estadísticamente significativa entre las variables, con un nivel de confianza del 95 % o superior. El error absoluto medio (MAE) de 7.77173 representa el promedio de los residuos. Por otro lado, el estadístico de Durbin-Watson (DW) evalúa la presencia de correlación serial en los residuos según el orden de los datos en el archivo; dado que su valor-P es inferior a 0.05, se sugiere la existencia de una posible correlación serial con un nivel de confianza del 95 %.

Análisis de la gráfica N° 05

Respecto al modelo ajustado del coeficiente de uniformidad versus velocidad de viento por pendiente de terreno, el mejor resultado de Coeficiente de Uniformidad tuvo la pendiente de 3.8 % teniendo valores superiores al 75 %, seguido por la pendiente de 10.6 % y finalmente la pendiente de 21.5 %.

Gráfico 5. Modelo ajustado del coeficiente de uniformidad versus velocidad de viento por pendiente.



Fuente: Software Statgraphics.

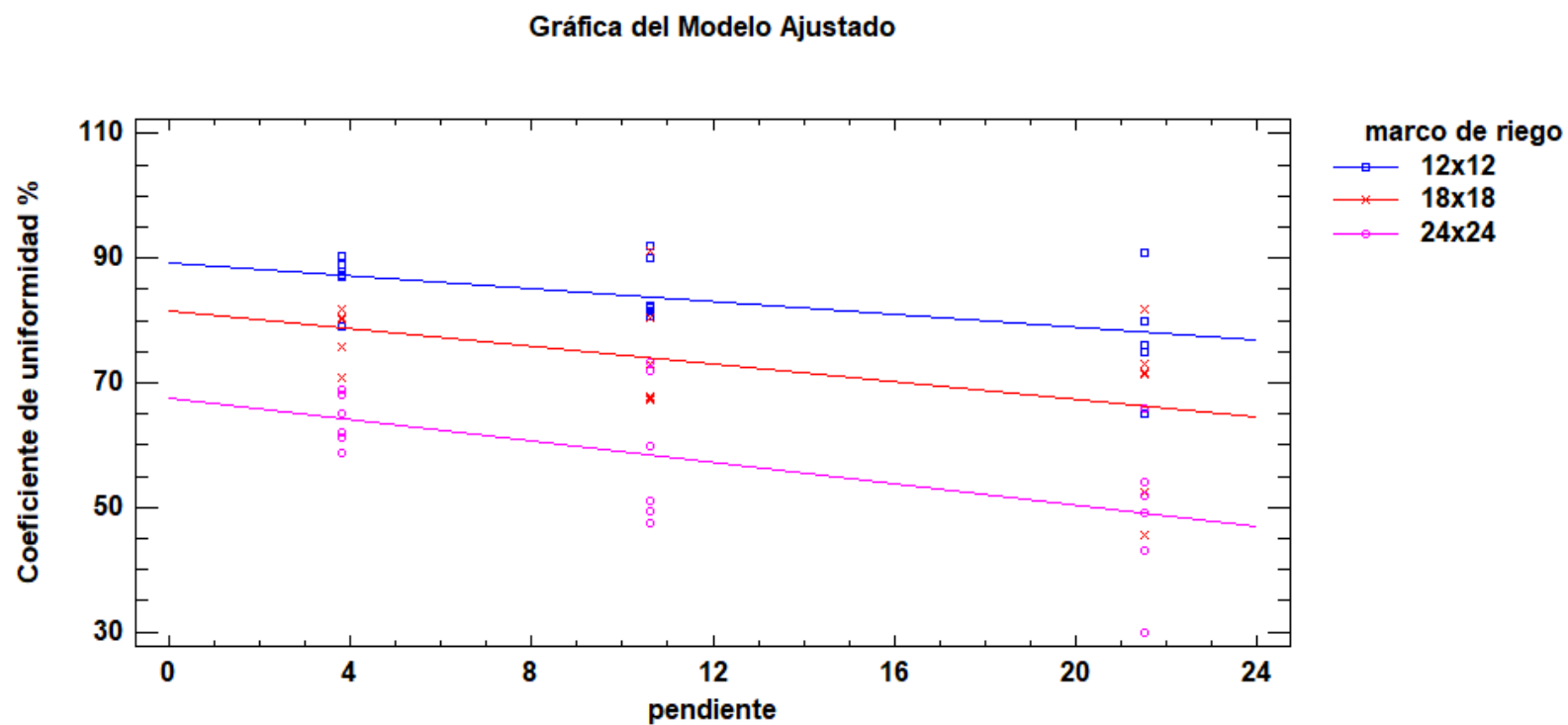
Tabla 113. Resultados de la evaluación del coeficiente de uniformidad en tres marcos de riego en cinco modelos de aspersores.

ASPERSOR	DIAMETRO BOQUILLA	PENDIENTE (%)	N° PRUEBA	PRESION (bar)	CAUDAL (m3/h)	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD	VELOCIDAD DE VIENTO	TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD RELATIVA (%)
						12 X 12	18 X 18	24 X 24	(m/s)		
VY R 35	4.0 x 2.4	3.8	1	3.85	1.6 8	79.00	70.75	65.00	1.9	23.20	42.00
			2	3.85	1.6 5	87.00	81.78	69.00	1.42	24.63	41.00
	mm	10.6	1	3.84	1.6 5	90.00	80.33	72.00	0.98	23.15	39.00
			2	3.84	1.6 3	82.00	72.9	59.70	1.45	23.42	37.00
		21.5	1	3.6	1.7 0	80.00	71.72	52.00	2.1	21.30	36.00
			2	3.6	1.7 3	76.00	71.44	54.00	1.5	22.04	41.00
VYR 70		3.8	1	4.1	2.2 0	90.39	81.78	68.20	2.22	22.50	42.00
			2	4.1	2.0 0	89.02	75.75	58.62	1.98	25.10	46.00
	4.8 x 3.1	10.6	1	3.98	2.2 2	80.61	67.37	50.91	2.25	22.32	39.52
			2	3.98	2.2 4	91.97	91.17	73.24	0.99	23.21	46.20
		21.5	1	3.3	2.2 3	75.00	73.15	49.00	2.12	21.20	42.00
			2	3.3	2.2 4	91.00	81.95	66.00	2.3	22.31	27.00
F30		3.8	1	3.8	1.8 0	87.26	80.26	61.23	1.8	22.13	42.13
			2	3.8	1.7 8	87.83	80.57	62.01	1.88	24.62	39.00
	4.0 x 2.4	10.6	1	3.7	1.7 9	81.48	67.54	47.56	1.6	23.25	37.10
			2	3.7	1.7 8	82.37	67.67	49.29	1.36	22.53	35.00

21.5	1	3.4	1.5	65.00	45.65	30.00	1.9	21.30	46.00
	2	3.4	1.5	80.00	52.4	43.00	1.8	22.56	38.00

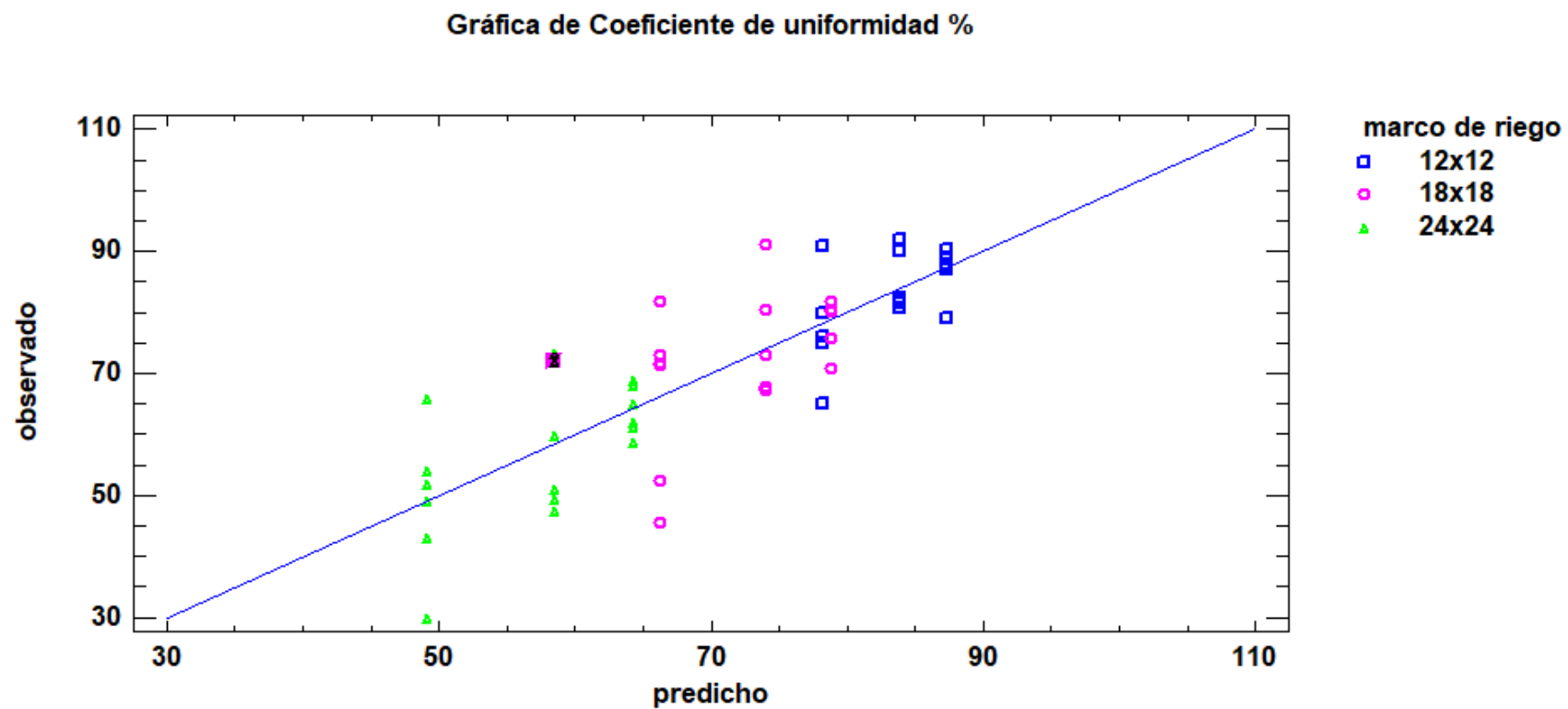
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 6. Modelo ajustado coeficiente de uniformidad versus pendiente de terreno por marco de riego



Fuente: Software Statgraphics.

Gráfico 7. Coeficiente de uniformidad observado versus predicho por marco de riego.



Fuente: Software Statgraphics.

5.2.4 Comparación de líneas de regresión por marcos de riego

Variable dependiente: **Coefficiente de Uniformidad**

Variable independiente: **Pendiente de Terreno**

Códigos de Nivel: **Marco de Riego**

Tabla 114. Análisis de Varianza.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	razón - F	Valor - P
Modelo	7537.43	5	150.49	20.32	0
Residuo	3561.59	48	74.1999		
Total(corr.)	11099	53			

Fuente: Software Statgraphics

Interpretación:

Dado que el valor-P obtenido en la tabla ANOVA es inferior a 0.05, se concluye que existe una relación estadísticamente significativa entre las variables, con un nivel de confianza del 95 %.

CONCLUSIONES

1. A partir del análisis de los datos recogidos en Llusco, 2024, no se pudo comprobar una relación directa significativa entre el coeficiente de uniformidad y el uso del aspersor modelo VYR 70 en una pendiente del 21.5 %. Si bien se observaron variaciones en la uniformidad del riego, estas no fueron concluyentes para establecer una tendencia clara. En consecuencia, la hipótesis inicial no fue confirmada, sugiriendo la necesidad de considerar otros factores que puedan influir en la eficiencia del riego en terrenos inclinados.

2. En el desarrollo del estudio realizado en Llusco durante el año 2024, se comprobó que existe una relación directa entre el coeficiente de uniformidad y el uso del aspersor modelo VYR 35 en terrenos con una pendiente del 10.6 %. Este modelo mostró una distribución eficiente del agua bajo dichas condiciones topográficas, lo que valida la hipótesis inicial. Por tanto, se concluye que el aspersor VYR 35 es una alternativa adecuada para sistemas de riego por aspersión en laderas con dicha inclinación.

3. Los resultados obtenidos en la investigación realizada en Llusco durante el año 2024 permiten confirmar que existe una relación directa entre el coeficiente de uniformidad y el funcionamiento del aspersor modelo F-30 en terrenos con una pendiente del 3.8 %. Este modelo presentó una distribución homogénea del agua, lo cual indica un buen desempeño hidráulico en condiciones de baja pendiente. Por lo tanto, se valida la hipótesis planteada, destacando la efectividad del modelo F-30 en sistemas de riego por aspersión en terrenos ligeramente inclinados.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda a los proyectistas revisar el diseño hidráulico del sistema en terrenos con pendiente, ajustando parámetros como la ubicación de las líneas de conducción y los métodos de compensación de presión, para minimizar la pérdida de uniformidad.
2. Se sugiere ensayar modelos de aspersores con características técnicas distintas al VYR 70, es decir, aspersor Naandanjain 427BGAG y Naandanjain 5035SD preferiblemente diseñados para operar en condiciones topográficas exigentes, con el fin de identificar equipos más eficientes en laderas pronunciadas.
3. Se recomienda promover la capacitación a los usuarios en la correcta operación y mantenimiento de sistemas de riego en terrenos inclinados, haciendo énfasis en la regulación de presión y el control de pérdidas de carga.
4. Se recomienda al comité de regantes establecer un programa de monitoreo para verificar que el aspersor mantenga su rendimiento esperado, controlando que la presión de operación y el caudal se mantengan dentro de los rangos recomendados por el fabricante.
5. Se recomienda a los usuarios llevar a cabo limpiezas y revisiones periódicas del aspersor F-30, asegurando que las boquillas y mecanismos de giro estén libres de obstrucciones y operen dentro de los parámetros recomendados.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Allcahuamán Matías, M. (2016). *Comportamiento del diseño hidráulico mediante reguladores de presión en riego presurizado en ladera, Churcampa-Huancavelica-2016*.
- ASAE. (2016). *Procedimiento para prueba de aspersores e informes de rendimiento* (MAR1985 (R2016)).
- Cabrera López, E. A., Rivera Estrada, K. V., & Blas Calero, R. D. (2019). Diseño de un sistema de riego por carrete para el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum*), en la finca La Reforma N°. 2 (AS) del ingenio Monte Rosa, ubicada en el municipio El Viejo del departamento de Chinandega.
- Calvache, U. A. (1998). *Introducción a la agricultura de regadío*. PRONADER - IICA.
- Carrazón, A. J. (2007). *Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego*. FAO.
- Castañon, G. (2000). *Ingeniería del riego: Utilización racional del agua*. Paraninfo S.A.
- Cisneros, A. R. (2003). *Apuntes de la materia riego y drenaje*. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Condori-Valverde, E., Baca García, C. J., Barragán-Condori, M., & Aro Aro, J. M. (2024). Efecto de la pendiente del terreno y tuberías terciarias en uniformidad de riego y rendimiento de arveja (*Pisum sativum*). *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 26(4), 187–192. <https://doi.org/10.18271/ria.2024.373>
- FAO. (2013). *Captación y almacenamiento de agua de lluvia*. Santiago de Chile.

- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2019). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (9ª ed.). McGraw-Hill.
- Japa Cornelio, N. S., & Rodríguez Ylanzo, J. E. (2016). Evaluación del balance hídrico en la línea de distribución N° 02 del sistema de riego por aspersión en la comunidad de Astobamba - Región Pasco.
- Keller, J. (1983). *Manual de diseño de sistemas de riego por aspersión y goteo*. Logan.
- Lovon Yahaira, W. (2021). Evaluación del coeficiente de uniformidad de distribución de agua en cinco modelos de aspersores y tres pendientes en el Centro Agronómico Kayra San Jerónimo-Cusco-2018.
- Pascual España, B., & Pascual Seva, N. (2020). *Riegos de gravedad y a presión*. Colección Académica.
- Pérez, K. (2002). *Manual para el diseño y gestión de pequeños sistemas de riego por aspersión en las laderas*. Academia. <https://www.academia.edu/>
- San José, L. M. (2015). Influencia de la velocidad de las máquinas de riego móviles (enrolladores) con diferentes aspersores. *Ingeniería Agrícola*, 5(3), 35–39.
- Soto, H. J. (2002). *Manual para el diseño y gestión de pequeños sistemas de riego por aspersión en laderas*. Proyecto Manejo Sostenible de Suelos y Agua en Laderas.
- Tarjuelo, M.-B. (1994). *El riego por aspersión y su tecnología*. Mundi-Prensa.

Tello, H. M. (2017). Análisis de la eficiencia de distribución de agua del sistema de riego por aspersión de la Aldea Quilenco, Chiantla, Huehuetenango (Tesis de posgrado).

Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas.

Ulloa, M. C. (2009). Manejo del agua de riego en zonas de ladera. Eídos, (2), 32.

VYRSA. (2008). Catálogo VYRSA. <https://www.vyrsa.com>

ANEXOS

Anexo 01: Constancia de ensayos

CONSTANCIA

EL QUE SUSCRIBE, Darío Caillahua Carrillo, PRESIDENTE DE LA COMUNIDAD CAMPESINA SAN SEBASTIAN LLUSCO CCOLLANA, DISTRITO DE LLUSCO, PROVINCIA DE CHUMBIVILCAS Y DEPARTAMENTO CUSCO.

HACE CONSTAR:

Que el Sr. **Claudio wigman chavez Alvis**, identificado con DNI N°48168290, egresado de la facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, ha ejecutado ensayos en riego por aspersión para el trabajo de investigación titulado **“EVALUACION DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD EN EL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSION EN LADERA USANDO TRES MODELOS DE ASPERSORES Y TRES PENDIENTES, EN LLUSCO,2024”**, desde el 06 de Setiembre hasta el 30 de Diciembre del 2024,autorizando para el uso de agua en los sectores de Huayllapata, q'enqo y Lakitiyu, cumpliendo eficientemente su proceso de experimento según el cronograma presentado.

Se expide el presente documento a solicitud escrita del interesado para los usos y fines que viere por conveniente.

Llusco 31 de diciembre del 2024.

 **COMUNIDAD CAMPESINA
SAN SEBASTIAN LLUSCO CCOLLANA**
DARÍO CAILLAHUA CARRILLO
DNI: 10687512
PRESIDENTE

Anexo 02: Recopilación de datos

RECOLECCION DE DATOS: ENSAYO N°01 PARA 12 X12 METROS

TESIS DE INVESTIGACION: EVALUACION DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD EN EL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSION EN LADERA USANDO TRES MODELOS DE ASPERSORES Y TRES PENDIENTES, EN LLUSCO, 2024

TESISTA: Claudio Wigman Chavez Alvis

MODELO: Aspensor VYR35

PENDIENTE: 3.8%

E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4
4	20	20	20	20	20	20	16
20	28	30	40	30	30	30	20
30	30	34	40	40	40	30	30
30	30	40	80	100	70	40	30
32	20	40	80	100	50	40	30
30	20	30	40	40	20	26	20
32	30	16	20	16	20	20	16
30	30	30	20	20	20	16	4

PENDIENTE: 10.6%

E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4
4	4	4	32	4	20	8	4
20	32	40	40	40	32	20	20
48	48	40	40	40	40	40	40
60	40	40	80	104	60	40	32
40	32	40	60	100	160	40	40
40	40	4	32	40	40	20	40
4	60	4	4	4	4	40	40
4	4	32	48	40	40	32	20

PENDIENTE: 21.5%

E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4
4	40	40	32	4	40	32	4
32	32	40	40	40	40	32	4
40	32	40	40	40	40	40	4
40	24	60	60	80	60	40	40
4	60	24	80	80	60	40	40
4	60	40	4	4	4	40	4
4	4	32	32	80	40	32	4
4	4	4	40	40	40	4	4



RECOLECCION DE DATOS: ENSAYO N°01 PARA 18 X18 METROS

TESIS DE INVESTIGACION: EVALUACION DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD EN EL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSION EN LADERA USANDO TRES MODELOS DE ASPERSORES Y TRES PENDIENTES, EN LLUSCO, 2024

TESISTA: Claudio Wigman Chavez Alvis

MODELO: Aspersor VYR35

PENDIENTE: 3.8%

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	11	25	24	26	28	23	8	0	0
0	0	4	20	20	20	20	20	20	16	0	0
0	11	20	28	30	40	30	30	30	20	5	0
0	16	30	30	34	40	40	40	30	30	19	1
5	19	30	30	40	80	100	70	40	30	20	1
6	20	32	20	40	80	100	50	40	30	21	4
4	18	30	20	30	40	40	20	26	20	16	3
0	13	32	30	16	20	16	20	20	16	6	1
0	2	30	30	30	20	20	20	16	4	0	0
0	0	12	15	14	16	17	12	6	3	0	0
0	0	0	0	1	4	2	1	0	0	0	0

PENDIENTE: 10.6%

0	0	1	1	10	15	16	8	3	1	0	0
0	2	5	20	25	23	25	28	24	12	0	0
0	5	4	4	4	32	4	20	8	4	15	1
0	11	20	32	40	40	40	32	20	20	27	15
5	17	48	48	40	40	40	40	40	40	26	15
6	19	60	40	40	80	104	60	40	32	25	16
6	20	40	32	40	60	100	160	40	40	23	14
2	9	40	40	4	32	40	40	20	40	18	6
1	4	4	60	4	4	4	4	40	40	14	1
0	1	4	4	32	48	40	40	32	20	5	1
0	1	2	3	6	8	13	12	8	4	0	0
0	0	1	1	1	1	2	2	1	1	0	0

PENDIENTE: 21.5%

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	2	2	3	4	2	1	0	0	0
0	3	4	40	40	32	4	40	32	4	15	1
1	4	32	32	40	40	40	40	32	4	27	15
2	11	40	32	40	40	40	40	40	4	26	15
2	13	40	24	60	60	80	60	40	40	25	16
3	14	4	60	24	80	80	60	40	40	23	14
1	5	4	60	40	4	4	4	40	4	18	6
0	3	4	4	32	32	80	40	32	4	14	1
0	2	4	4	4	40	40	40	4	4	5	1
0	0	1	1	3	3	3	2	2	1	1	0
0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0



RECOLECCION DE DATOS: ENSAYO N°02+A1:H24 PARA 12 X12 METROS

TESIS DE INVESTIGACION:EVALUACION DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD EN EL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSION EN LADERA USANDO TRES MODELOS DE ASPERSORES Y TRES PENDIENTES, EN LLUSCO,2024.

TESISTA: Claudio Wigman Chavez Alvis

MODELO: Aspensor VYR35

PENDIENTE: 3.8%

E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4
11	22	26	24	24	23	22	8
27	18	13	8	11	15	36	32
21	12	22	56	37	29	25	39
15	21	50	102	109	42	25	25
13	26	65	101	95	49	23	21
19	15	28	55	51	24	15	18
21	13	14	14	16	13	19	18
20	17	19	16	13	13	21	10

PENDIENTE:10.6%

E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4
22	24	20	20	21	21	28	55
22	21	25	35	35	25	23	28
23	25	48	69	65	56	31	22
23	36	59	111	105	78	37	26
21	35	57	84	98	65	36	25
21	24	39	53	49	43	31	25
14	22	24	28	28	26	23	26
6	13	19	21	19	20	20	16

PENDIENTE:21.5%

E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4
5	15	17	26	19	26	11	3
16	20	24	13	19	23	29	15
21	20	14	10	19	27	19	19
21	27	38	72	78	46	26	16
25	35	68	112	110	46	33	13
22	27	41	52	45	33	23	9
11	19	22	50	24	19	10	4
5	13	12	12	7	9	4	4



RECOLECCION DE DATOS: ENSAYO N°01 PARA 12 X12 METROS

TESIS DE INVESTIGACION: EVALUACION DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD EN EL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSION EN LADERA USANDO TRES MODELOS DE ASPERSORES Y TRES PENDIENTES, EN LLUSCO, 2024.

TESISTA: Claudio Wigman Chavez Alvis

MODELO: Aspersor VYR70

PENDIENTE: 3.8%

E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4
2	2	20	20	20	30	30	20
2	30	40	40	30	40	40	30
20	30	60	60	50	80	40	40
30	40	60	60	70	70	70	30
50	30	50	60	70	60	50	30
40	32	30	50	60	40	30	10
16	40	30	30	40	40	20	2
2	2	20	20	20	20	10	2

PENDIENTE: 10.6%

E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4
4	4	4	4	4	4	4	4
4	8	20	48	40	40	4	32
60	32	80	60	60	60	40	40
40	20	60	64	60	60	80	40
40	8	60	60	60	160	88	60
4	60	4	4	80	60	40	72
4	40	40	20	40	40	60	4
4	4	4	40	60	4	4	4

PENDIENTE: 21.5%

E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4
4	40	40	40	40	32	4	4
60	40	4	100	80	80	60	4
6	4	120	60	80	60	80	60
100	32	80	100	100	80	60	60
4	80	4	100	80	60	80	60
4	80	40	4	80	60	40	40
4	4	40	40	40	40	40	4
4	4	4	4	40	4	4	4



RECOLECCION DE DATOS: ENSAYO N°01 PARA 18X18 METROS
TESIS DE INVESTIGACION: EVALUACION DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD EN EL SISTEMA DE RIEGO
 POR ASPERSION EN LADERA USANDO TRES MODELOS DE ASPERSORES Y TRES PENDIENTES, EN
 LLUSCO, 2024.

TESISTA: Claudio Wigman Chavez Alvis

MODELO: Aspersor VYR70

PENDIENTE: 3.8%

0	0	1	2	4	6	5	4	3	2	0	0
0	1	8	19	24	30	16	13	5	9	1	0
4	17	2	2	20	20	20	30	30	20	3	0
18	25	2	30	40	40	30	40	40	30	9	2
23	23	20	30	60	60	50	80	40	40	9	3
30	20	30	40	60	60	70	70	70	30	14	3
31	23	50	30	50	60	70	60	50	30	13	2
25	24	40	32	30	50	60	40	30	10	12	3
14	16	16	40	30	30	40	40	20	2	6	1
2	2	2	2	20	20	20	20	10	2	4	0
0	1	11	19	18	22	19	7	4	3	0	0
0	0	0	0	2	2	1	2	0	0	0	0

PENDIENTE: 10.6%

0	0	2	7	17	19	13	5	1	0	0	0
0	8	29	25	24	29	26	27	31	35	0	0
7	22	4	4	4	4	4	4	4	4	3	0
15	19	4	8	48	40	40	40	4	32	11	1
13	15	60	32	60	60	60	60	40	40	19	7
13	19	40	20	64	60	60	60	80	40	21	5
11	14	4	8	60	60	60	160	80	60	16	15
11	13	4	60	4	80	80	60	40	72	9	9
3	6	4	40	20	40	40	40	60	4	7	9
0	2	4	4	40	60	60	4	4	4	7	1
0	0	2	3	9	9	11	5	4	3	2	0
0	0	0	0	1	3	2	2	1	0	0	0

PENDIENTE: 21.5%

0	0	0	0	1	2	3	3	1	0	0	0
0	0	2	4	16	15	19	18	21	6	1	0
0	2	4	40	40	40	40	32	4	4	5	1
1	5	60	40	4	100	80	80	60	4	19	5
2	13	60	4	120	60	80	60	80	60	27	16
3	15	100	32	80	100	100	80	60	60	23	15
4	17	4	80	4	100	80	60	80	60	22	15
3	9	4	80	40	4	80	60	40	40	26	9
2	1	4	4	40	40	40	40	40	4	13	8
0	2	4	4	4	4	40	4	4	4	7	3
0	0	3	6	9	13	15	16	9	4	2	0
0	0	0	0	2	3	3	3	3	1	0	0



RECOLECCION DE DATOS: ENSAYO N°02 PARA 12 X12 METROS

TESIS DE INVESTIGACION: EVALUACION DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD EN EL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSION EN LADERA USANDO TRES MODELOS DE ASPERSORES Y TRES PENDIENTES, EN LLUSCO, 2024.

TESISTA: Claudio Wigman Chavez Alvis

MODELO: Aspersor VYR70

PENDIENTE: 3.8%

E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4
15	23	36	36	31	33	30	20
25	28	24	32	32	12	20	20
26	31	62	88	82	64	23	21
41	50	96	130	100	92	58	21
26	41	101	140	115	93	46	20
20	29	68	111	102	76	28	20
16	23	30	49	36	33	30	30
13	15	22	30	30	35	30	14

PENDIENTE: 10.6%

E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4
28	22	29	30	33	31	22	13
20	35	50	70	70	48	30	16
30	60	71	81	85	78	43	22
35	63	78	76	80	72	45	25
31	68	71	72	70	69	45	27
33	52	60	60	60	55	30	15
20	30	40	50	42	32	22	11
14	22	25	28	23	16	12	5

PENDIENTE: 21.5%

E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4
5	27	26	23	22	23	25	19
20	31	20	23	24	20	20	21
28	27	34	41	41	48	31	21
30	38	72	78	61	56	45	23
30	51	84	99	101	74	52	30
26	35	70	86	84	73	42	25
21	25	34	52	55	45	31	20
7	16	22	24	24	25	21	5



8X18 METROS

TESIS DE INVESTIGACION:EVALUACION DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD EN EL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSION EN LADERA USANDO TRES MODELOS DE ASPERSORES Y TRES PENDIENTES, EN LLUSCO,2024.

TESISTA: Claudio Wigman Chavez Alvis

MODELO: Aspersor VYR70

PENDIENTE: 3.8%

0	0	0	0	1	1	1	2	2	0	0	0
0	0	6	12	20	28	25	33	14	6	1	0
0	8	15	23	36	36	31	33	30	20	7	0
2	11	25	28	24	32	32	12	20	20	22	1
4	15	26	31	62	88	82	64	23	21	21	14
8	32	41	50	96	130	100	92	58	21	8	16
10	15	26	41	101	140	115	93	46	20	23	20
5	14	20	29	68	111	102	76	28	20	22	7
1	11	16	23	30	49	36	33	30	30	13	0
2	1	13	15	22	30	30	35	30	14	2	0
0	0	11	19	18	22	19	7	4	3	0	0
0	0	0	0	2	2	1	2	0	0	0	0

PENDIENTE:10.6%

0	0	2	6	14	19	11	6	3	0	0	0
1	7	24	30	31	31	31	23	11	4	0	0
9	24	28	22	29	30	33	31	22	13	3	0
20	24	20	35	50	70	70	48	30	16	5	3
15	15	30	60	71	81	85	78	43	22	11	5
21	19	35	63	78	76	80	72	45	25	21	5
16	19	31	68	71	72	70	69	45	27	11	4
17	20	33	52	60	60	60	55	30	15	5	3
9	17	20	30	40	50	42	32	22	11	5	2
3	9	14	22	25	28	23	16	12	5	4	1
0	3	2	3	9	9	11	5	4	3	2	0
0	0	0	0	1	3	2	2	1	0	0	0

PENDIENTE:21.5%

0	0	0	0	2	2	4	4	1	0	0	0
0	0	2	5	14	18	20	17	20	5	1	0
0	1	5	27	26	23	22	23	25	19	6	2
1	4	20	31	20	23	24	20	20	21	20	8
1	15	28	27	34	41	41	48	31	21	28	15
2	16	30	38	72	78	61	56	45	23	22	14
3	19	30	51	84	99	101	74	52	30	23	14
2	8	26	35	70	86	84	73	42	25	27	8
1	2	21	25	34	52	55	45	31	20	14	7
0	2	7	16	22	24	24	25	21	5	8	3
0	0	4	7	8	11	16	17	7	6	2	0
0	0	0	0	1	2	2	2	3	1	0	0

IRA 12 X12 METROS



TESIS DE INVESTIGACION: EVALUACION DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD EN EL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSION EN LADERA USANDO TRES MODELOS DE ASPERSORES Y TRES PENDIENTES, EN LLUSCO, 2024.

TESISTA: Claudio Wigman Chavez Alvis

MODELO: Aspersor F-30

PENDIENTE: 3.8%

E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4
10	30	44	48	48	40	50	30
30	50	50	46	52	44	50	50
50	50	70	120	140	150	60	50
60	50	150	130	130	200	110	50
40	50	110	100	120	144	80	60
38	30	80	100	130	72	42	50
50	30	30	50	48	50	50	20
40	50	40	40	50	40	20	4

PENDIENTE: 10.6%

E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4
4	40	40	40	40	8	8	8
48	40	40	60	40	40	8	32
60	40	40	100	140	80	60	32
60	40	120	140	120	160	100	40
40	40	120	160	140	220	60	60
40	40	8	20	40	40	60	48
4	4	60	40	60	60	60	4
4	4	4	4	40	20	4	4

PENDIENTE: 21.5%

E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4
2	2	2	2	2	2	2	2
16	4	2	16	16	20	2	10
4	30	60	30	40	30	20	20
20	32	20	70	50	50	50	20
2	70	60	90	140	130	30	40
2	2	20	40	20	16	40	20
2	2	2	2	2	80	2	2
2	2	2	2	2	2	2	2



.....

RECOLECCION DE DATOS: ENSAYO N°01 PARA 18X18 METROS

TESIS DE INVESTIGACION: EVALUACION DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD EN EL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSION EN LADERA USANDO TRES MODELOS DE ASPERSORES Y TRES PENDIENTES, EN LLUSCO, 2024.

TESISTA: Claudio Wigman Chavez Alvis

MODELO: Aspersor F-30

PENDIENTE: 3.8%

0	0	0	1	2	3	3	1	2	0	0	0
0	0	3	4	13	24	13	15	18	5	1	0
0	3	10	30	44	48	48	40	50	30	4	2
1	4	30	50	50	46	52	44	50	50	18	5
1	12	50	50	70	120	140	150	60	50	25	13
2	15	60	50	150	130	130	200	110	50	21	15
3	16	42	50	110	100	120	144	80	60	20	15
2	8	38	30	80	100	130	72	42	50	16	9
1	3	50	30	30	50	48	50	50	20	11	4
0	1	40	50	40	40	50	40	20	4	5	1
0	0	3	4	9	12	12	11	6	4	3	0
0	0	0	2	3	3	3	3	3	1	0	0

PENDIENTE: 10.6%

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	2	10	26	22	23	26	22	7	0	0
0	0	4	40	40	40	40	8	8	8	0	0
0	9	48	40	40	60	40	40	8	32	4	0
0	13	60	40	40	100	140	80	60	32	21	2
3	17	60	40	120	140	120	160	100	40	22	2
2	21	40	40	120	160	140	220	60	60	20	3
3	19	40	40	8	20	40	40	60	48	15	2
0	11	4	4	60	40	60	60	60	4	9	1
0	3	4	4	4	4	40	20	4	4	1	0
0	0	11	14	12	19	15	9	5	5	0	0
0	0	0	0	1	4	2	1	0	0	0	0

PENDIENTE: 21.5%

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	2	10	16	17	20	24	20	6	0	0
0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	0	0
0	8	16	4	2	16	16	20	2	10	4	0
0	6	4	30	60	30	40	30	20	20	16	2
2	15	20	32	20	70	50	50	50	20	15	1
1	12	2	70	60	90	140	130	30	40	19	3
2	13	2	2	20	40	20	16	40	20	13	4
0	11	2	2	2	2	2	80	2	2	5	2
0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0	0
0	0	10	9	8	5	9	8	2	1	0	0
0	0	0	0	1	4	2	1	0	0	0	0



RECOLECCION DE DATOS: ENSAYO N°02 PARA 12 X12 METROS

TESIS DE INVESTIGACION: EVALUACION DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD EN EL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSION EN LADERA USANDO TRES MODELOS DE ASPERSORES Y TRES PENDIENTES, EN LLUSCO, 2024.

TESISTA: Claudio Wigman Chavez Alvis

MODELO: Aspersor F-30

PENDIENTE: 3.8%

E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4
12	28	40	45	45	38	48	28
31	52	51	45	50	42	48	48
48	53	68	115	138	145	59	47
58	55	125	125	125	189	100	46
40	56	100	98	114	150	76	62
36	26	72	97	128	74	41	48
52	25	29	49	45	48	48	18
38	46	38	39	48	38	19	6

PENDIENTE: 10.6%

E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4
5	38	38	38	38	7	10	10
46	38	39	50	38	36	10	28
58	36	39	98	120	76	56	28
56	36	110	138	110	150	98	38
38	38	115	150	138	189	58	57
38	36	10	19	37	38	56	45
3	5	52	38	58	58	56	6
3	5	5	6	36	19	6	6

PENDIENTE: 21.5%

E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4
4	4	4	4	2	6	6	8
18	6	6	18	19	4	5	10
8	32	61	32	33	26	21	21
21	34	25	68	69	49	49	19
4	74	58	92	94	28	28	39
6	6	21	38	39	39	36	18
8	8	4	4	4	4	8	4
4	6	4	2	6	2	4	2



.....

RECOLECCION DE DATOS: ENSAYO N°02 PARA 18X18 METROS

TESIS DE INVESTIGACION: EVALUACION DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD EN EL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSION EN LADERA USANDO TRES MODELOS DE ASPERSORES Y TRES PENDIENTES, EN LLUSCO, 2024.

TESISTA: Claudio Wigman Chavez Alvis

MODELO: Aspensor F-30

PENDIENTE: 3.8%

0	0	0	2	3	3	3	2	2	0	0	0
0	0	2	3	12	26	14	17	17	4	1	0
0	2	12	28	40	45	45	38	48	28	5	2
1	3	31	52	51	45	50	42	48	48	20	6
2	11	48	53	68	115	138	145	59	47	26	11
2	16	58	55	125	125	125	189	100	46	20	16
3	18	40	56	100	98	114	150	76	62	19	17
3	9	36	26	72	97	128	74	41	48	15	10
1	4	52	25	29	49	45	48	48	18	10	5
0	2	38	46	38	39	48	38	19	6	4	2
0	0	2	5	10	11	10	12	7	3	2	0
0	0	0	1	2	2	4	3	4	2	0	0

PENDIENTE: 10.6%

0	0	0	2	3	15	14	12	11	5	0	0
0	0	1	9	27	21	24	25	21	8	0	0
0	0	5	38	38	38	38	7	10	10	0	0
0	10	46	38	39	50	38	36	10	28	5	0
0	12	58	36	39	98	120	76	56	28	20	3
2	18	56	36	110	138	110	150	98	38	21	2
2	20	38	38	115	150	138	189	58	57	19	3
2	18	38	36	10	19	37	38	56	45	14	3
0	10	3	5	52	38	58	58	56	6	10	2
0	2	3	5	5	6	36	19	6	6	2	0
0	0	10	15	13	20	16	10	4	6	0	0
0	0	0	0	2	6	3	2	0	0	0	0

PENDIENTE: 21.5%

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	3	12	18	19	22	28	22	5	0	0
0	0	4	4	4	4	2	6	6	8	0	0
0	6	18	6	6	18	19	4	5	10	6	0
0	5	8	32	61	32	33	26	21	21	18	3
3	13	21	34	25	68	69	49	49	19	17	2
2	13	4	74	58	92	94	28	28	39	21	4
3	12	6	6	21	38	39	39	36	18	12	3
0	10	8	8	4	4	4	4	8	4	6	2
0	1	4	6	4	2	6	2	4	2	0	0
0	0	11	10	8	7	10	9	4	2	0	0
0	0	0	0	2	6	3	2	0	0	0	0

COMUNIDAD CAMPESINA
SAN SEBASTIAN LLUSCO
PRESIDENTE
DARIO GALLARUA CARRILLO
CUI: 10287012

Anexo 03: Matriz de Consistencia

FORMULACION DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VAR.
Problema general ¿Cómo varía el coeficiente de uniformidad en el sistema de riego por aspersión en ladera usando tres modelos de aspersores y tres pendientes, en Llusco, 2024?	objetivo General Evaluar el coeficiente de uniformidad con tres modelos de aspersores y en tres pendientes del terreno en el sistema de riego por aspersión, en Llusco, 2024.	Hipótesis general. La variación del coeficiente de uniformidad en tres modelos de aspersores y en diferentes pendientes del terreno son de relación directa en el sistema de riego por aspersión, en Llusco, 2024.	Coeficiente de uniformidad en ladera
Problema específico 1. ¿Cuál será el coeficiente de uniformidad del sistema de riego por aspersión utilizando aspersor modelo VYR 70 en diferentes pendientes del terreno en Llusco, 2024? 2. ¿Cuál será el coeficiente de uniformidad del sistema de riego por aspersión utilizando aspersor modelo VYR 35 y en diferentes pendientes del terreno en Llusco, 2024? 3. ¿Cómo será el coeficiente de uniformidad del sistema de riego por aspersión utilizando aspersor modelo F30 y en diferentes pendientes del terreno en Llusco?	Objetivos Específicos 1. Evaluar el coeficiente de uniformidad del sistema de riego por aspersión utilizando aspersor modelo VYR 70 y en diferentes pendientes del terreno en Llusco, 2024. 2. Determinar el coeficiente de uniformidad del sistema de riego por aspersión utilizando aspersor modelo VYR 35 y en diferentes pendientes del terreno en Llusco, 2024. 3. Evaluar el coeficiente de uniformidad del sistema de riego por aspersión utilizando aspersor modelo F 30 y en diferentes pendientes del terreno en Llusco, 2024.	Hipótesis específicas 1. El coeficiente de uniformidad con aspersor modelo VYR 70 y su relación con 21.5% de pendiente del terreno es directa en el sistema de riego por aspersión, en Llusco, 2024. 2. El coeficiente de uniformidad con aspersor modelo VYR 35 y su relación con 10.6% de pendiente del terreno tiene una relación directa en el sistema de riego por aspersión, en Llusco, 2024. 3. El coeficiente de uniformidad con aspersor modelo F-30 y su relación con 3.8% de pendiente del terreno es directa en el sistema de riego por aspersión, en Llusco, 2024.	

Fotografías



Anexo 04. Trazo de cuadrantes para marco de riego 18 x 18 m.



Anexo 05. Trazo de sub áreas de 3 x 3 m. con yeso



Anexo 06. Levantamiento topográfico del campo experimental.



Anexo 07. Evaluación del aspersor VYR35, en pendiente 3.8%, marco de riego 18 x 18 m.



Anexo 08. Evaluación del aspersor VYR 70, en pendiente 3.8 %, en marco de riego 18x 18 m.



Anexo 09. Evaluación del aspersor F30, en pendiente 3.8 % en marco de riego 18 x 18 m.



Anexo 10: Evaluación del aspersor VYR 35, en pendiente 3.5 % en marco deriego 18 x 18 m.



Anexo 11: Evaluación del aspersor VYR 35, en pendiente simulado de 10.6 % enmarco de riego 18 x 18 m.



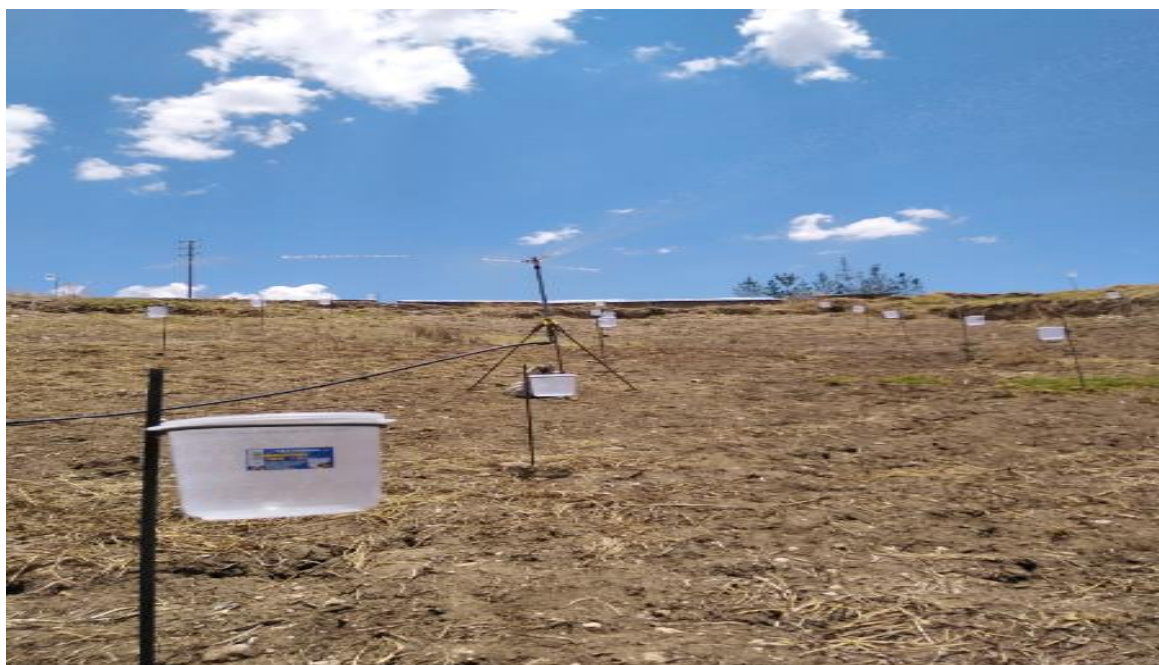
Anexo 12: Evaluación del aspersor VYR 70, en pendiente simulado de 10.6 % enmarco de riego 18 x 18 m.



Anexo 13: Levantamiento topográfico para las evaluaciones de los tres modelos de aspersores en la parcela Q'engo.



Anexo: 14 Instalación de las parantes portas colectores pluviométricos en parcela con pendiente de 21.50 %.



Anexo 15: Evaluación del aspersor VYR 35, en pendiente de 21.50 % en marcode riego 18x18 m.



Anexo 16: Evaluación del aspersor VYR 70, en pendiente de 21.50% en marcode riego 18x18 m.



Anexo 17: Evaluación del aspersor F30, en pendiente de 21.50 % enmarco de riego 18x18



Anexo 18: Lectura del agua colectada en los pluviómetros con probetas de 250y 25 ml, durante las evaluaciones.



Anexo 19: Evaluación de la presión de funcionamiento de los aspersores conmanómetro en unidad de medida bar.



Anexo 20: Evaluación de la velocidad de viento con anemómetro Manual en m/s.



Anexo 21: Evaluación de la temperatura y Humedad relativa durante las evaluaciones



Anexo 22: Pluviómetro en plena evaluación, con contenido de agua colectada.



Anexo 23: Captación del sector de Huaycco lleno de restos vegetales.