

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



TESIS:

**Evaluación del Coeficiente de Uniformidad de Christiansen en
cinco comités de riego por aspersión, provincia Huamanga -
Ayacucho, 2025**

Para optar el título profesional de:
INGENIERO AGRÍCOLA

PRESENTADO POR:

Bach. Nemer HUARIPAUCAR MORALES

ASESOR:

M.Sc. César Vidal GUTIÉRREZ NINAHUAMÁN

AYACUCHO - PERÚ

2025

DEDICATORIA

A Dios Todopoderoso, fuente de vida, sabiduría y esperanza, por iluminar mi camino con su infinita bondad, dame fuerzas en los momentos de dificultad y guiarme con paciencia y fe hasta alcanzar esta importante meta en mi formación profesional.

A mis queridos padres, Angel Huaripaucar Tueros y Sonia Morales Vásquez, que con ejemplo constante de sacrificio, esfuerzo y amor incondicional me apoyaron en todo este camino de formación. Gracias a su apoyo, consejos sabios y confianza en mí, hoy puedo hacer realidad este logro que también les pertenece.

AGRADECIMIENTO

Inicialmente expreso mi más profunda gratitud a Dios, por ser mi guía y fortaleza en cada etapa de mi camino académico. Su infinita bondad y sabiduría me han brindado luz en los momentos de incertidumbre, fortaleza en las dificultades y esperanza para continuar con fe hasta culminar este trabajo de investigación.

Mi reconocimiento a la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, institución que me brindo la oportunidad de formarme profesionalmente, y que con su legado histórico me motivo y con su compromiso académico contribuyo de manera imprescindible a mi desarrollo. En especial, agradezco a todos mis docentes de la UNSCH, quienes con dedicación, esfuerzo y paciencia me transmitieron sus principios y valores los cuales han sido pilares en mi formación.

Asimismo, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi asesor de tesis, M. Sc. César Vidal Gutiérrez Ninahuamán, por su valiosa orientación, por sus observaciones oportunas y compromiso en la revisión y seguimiento de mi proyecto de tesis. Su guía académica y profesionalismo han sido determinantes para la culminación satisfactoria de la presente investigación.

Finalmente, quiero expresar mi profunda gratitud a todas las personas e instituciones que, de manera directa o indirecta, contribuyeron con sus enseñanzas, consejos, apoyo y motivación para que este esfuerzo de sus frutos.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO.....	III
RESUMEN	13
ABSTRACT	14
INTRODUCCIÓN.....	15
OBJETIVO GENERAL	17
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
CAPÍTULO I.....	19
MARCO TEORICO.....	19
1.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
1.2. BASES TEÓRICAS	23
1.2.1. RIEGO	23
1.2.2. OBJETIVOS DEL RIEGO.....	23
1.2.3. MÉTODOS DE RIEGO A PRESIÓN	24
1.2.4. RIEGO POR ASPERSIÓN	25
1.2.5. VENTAJAS E INCONVENIENTES DEL RIEGO POR ASPERSIÓN.....	25
1.2.6. ELEMENTOS QUE COMPONEN UN SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN.....	27
1.2.7. EFICIENCIA DE RIEGO (E_R)	29
1.2.8. EFICIENCIA DE APLICACIÓN.....	30
1.2.9. LÁMINA DE RIEGO.....	30
1.2.10. DESVIACIÓN MEDIA ABSOLUTA	30
1.2.11. PÉRDIDAS DE CARGA.....	30
1.2.12. ASPECTOS TÉCNICOS DEL DISEÑO	30
1.2.13. PULVERIZACIÓN.....	33
1.2.14. PLUVIOMETRÍA DEL ASPERSOR	34
1.2.15. UNIFORMIDAD DE RIEGO / UNIFORMIDAD DE DISTRIBUCIÓN DEL AGUA.....	36
1.2.16. COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE CHRISTIANSEN (CUC)	36
1.2.17. CAUDAL DEL ASPERSOR	36

1.2.18. PRESIÓN DE OPERACIÓN	36
1.2.19. CRITERIOS DE EVALUACIÓN Y CLASIFICACIÓN DEL CU	37
1.2.20. INFILTRACIÓN.....	40
CAPÍTULO II	41
METODOLOGÍA	41
2.1. UBICACIÓN	41
2.1.1. <i>Ubicación política</i>	41
2.1.2. <i>Ubicación geográfica</i>	42
2.2. VÍAS DE ACCESO.....	46
2.3. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS	47
A. <i>Casaorcco</i>	47
B. <i>Manzanayocc</i>	48
C. <i>Cusibamba</i>	48
D. <i>Santa Bárbara</i>	48
E. <i>Acosvinchos</i>	48
2.4. MATERIALES Y EQUIPOS	49
2.4.1. <i>Materiales</i>	49
2.4.2. <i>Equipos</i>	49
2.5. METODOLOGÍA.....	50
CAPÍTULO III	58
RESULTADOS.....	58
OBJETIVO A: CARACTERIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE RIEGO POR ASPERSIÓN EN LOS CINCO COMITÉS.	58
OBJETIVO B: APLICAR LA METODOLOGÍA EXPERIMENTAL DEL MÉTODO DE CHRISTIANSEN	70
OBJETIVO C: COMPARAR LOS CUC DE LOS COMITÉS EVALUADOS Y CLASIFICARLOS	101
OBJETIVO D: PROPUESTA DE MEJORA DE VALOR CUC EN LOS COMITÉS DE RIEGO: ..	105
DISCUSIONES.....	138
CONCLUSIONES	143
RECOMENDACIONES	145

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	148
ANEXOS.....	152
PANEL FOTOGRÁFICO.....	154
FICHAS DE EVALUACIÓN.....	194
ESQUEMAS HIDRÁULICOS DE LOS COMITES DE RIEGO	202
ASPERSORES DE CAMPO.....	204

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema simplificado de un sistema de riego por aspersión.....	25
Figura 2. Efecto del viento en la distribución del agua por un aspersor.	32
Figura 3. Método aproximado de fijar la presión correcta de un aspersor.	32
Figura 4. Efecto de la presión en la distribución del agua por el aspersor.	34
Figura 5. Esquema de humedecimiento.....	35
Figura 6. Imagen satelital de la parcela de estudio en Casaorcco.....	43
Figura 7. Imagen satelital de la parcela de estudio en Manzanayocc	43
Figura 8. Imagen satelital de la parcela de estudio en Cusibamba	44
Figura 9. Imagen satelital de la parcela de estudio en Santa Bárbara.	45
Figura 10. Imagen satelital de la parcela de estudio en Acosvinchos	45
Figura 11. Visualización topográfica en campo de Casaorcco.....	75
Figura 12. Mapa de distribución de la precipitación mediante isoyetas en el área de Casaorcco.....	76
Figura 13. Visualización topográfica en campo de Manzanayocc.....	81
Figura 14. Mapa de distribución de la precipitación mediante isoyetas en el área de Manzanayocc.	82
Figura 15. Visualización topográfica en campo de Santa Bárbara.	87
Figura 16. Mapa de distribución de la precipitación mediante isoyetas en el área de Santa Bárbara.	88
Figura 17. Visualización topográfica en campo de Cusibamba.....	93
Figura 18. Mapa de distribución de la precipitación mediante isoyetas en el área de Cusibamba.	94
Figura 19. Visualización topográfica en campo de Acosvinchos.	99
Figura 20. Mapa de distribución de la precipitación mediante isoyetas en el área de Acosvinchos.....	100
Figura 21. Mapa de distribución de la precipitación en el área de Casaorcco(adicional).	112
Figura 22. Mapa de distribución de la precipitación en el área de Santa Bárbara(adicional).....	117
Figura 23. Mapa de distribución de la precipitación en el área de Acosvinchos(adicional).	122

Figura 24. Identificación de campo en Casaorcco	154
Figura 25. Identificación de campo en Manzanayocc.....	154
Figura 26. Identificación de campo en Santa Bárbara	154
Figura 27. Identificación de campo en Cusibamba.....	155
Figura 28. Identificación en campo de Acosvinchos	155
Figura 29. Reservorio – 01 de Casaorcco.....	156
Figura 30. Canal de alimentación de reservorio en Casaorcco.....	156
Figura 31. Cámara de válvula sectorial en Casaorcco.	156
Figura 32. Válvula de apertura y cierre junto al aspersor en Casaorcco.	157
Figura 33. Reservorio – 01 de Manzanayocc.	157
Figura 34. Canal principal del Proyecto CACHI.	157
Figura 35. Toma lateral en canal principal en Manzanayocc.	158
Figura 36. Canal de alimentación y derivación para otras parcelas.....	158
Figura 37. Estructura de control de malezas.....	159
Figura 38. Válvulas de alimentación para los 04 reservorios.....	159
Figura 39. Válvula sectorial automatizada en Manzanayocc.	159
Figura 40. Control de presión de trabajo para el riego en Manzanayocc.	160
Figura 41. Válvula parcelaria directa en Manzanayocc.	160
Figura 42. Reservorio – 01 de Santa Bárbara.	160
Figura 43. Estructura de Desarenador.	161
Figura 44. Compuerta de alimentación para reservorio.	161
Figura 45. Válvula sectorial automatizada en Santa Bárbara.	161
Figura 46. Válvula parcelaria en Santa bárbara	162
Figura 47. Reservorio de Cusibamba.	162
Figura 48. Toma lateral en el canal principal de proyecto CACHI.	163
Figura 49. Canal de alimentación para pozo y reservorio.	163
Figura 50. Compuertas de derivación.....	164
Figura 51. Cámara de válvulas de derivación en pozo.....	164
Figura 52. Válvula parcelaria en Cusibamba.....	165
Figura 53. Reservorio de Acosvinchos.....	165
Figura 54. Cámara de válvula de derivación al sistema.	165
Figura 55. Desarenador de sistema para pasar a tubería enterrada.	166

Figura 56. Rendijas en el sistema para evitar obstrucciones.	166
Figura 57. Cámara de válvula sectorial.	167
Figura 58. Cámara de hidrante parcelario.	167
Figura 59. Mediciones en Casaorcco.	168
Figura 60. Mediciones en Manzanayocc.	168
Figura 61. Mediciones en Santa Bárbara.	168
Figura 62. Mediciones en Cusibamba.	169
Figura 63. Mediciones en Acosvinchos.	169
Figura 64. Colocación de pluviómetros en Casaorcco.	170
Figura 65. Colocación de pluviómetros en Manzanayocc.	170
Figura 66. Colocación de pluviómetros en Santa Bárbara.	170
Figura 67. Colocación de pluviómetros en Cusibamba.	171
Figura 68. Colocación de pluviómetros en Acosvinchos.	171
Figura 69. Control meteorológico en Casaorcco.	171
Figura 70. Control meteorológico en Manzanayocc.	172
Figura 71. Control meteorológico en Cusibamba.	172
Figura 72. Recolección de datos en Casaorcco.	172
Figura 73. Recolección de datos en Manzanayocc.	173
Figura 74. Recolección de datos en Santa Bárbara.	173
Figura 75. Recolección de datos en Cusibamba.	173
Figura 76. Recolección de datos en Acosvinchos.	174
Figura 77. Proceso de prueba de infiltración en cada parcela.	174
Figura 78. Ficha de evaluación de Casaorcco.	194
Figura 79. Ficha de evaluación de Manzanayocc.	195
Figura 80. Ficha de evaluación de Santa Bárbara.	196
Figura 81. Ficha de evaluación de Cusibamba.	197
Figura 82. Ficha de evaluación de Acosvinchos.	198
Figura 83. Ficha de evaluación de Casaorcco (adicional).	199
Figura 84. Ficha de evaluación de Santa Bárbara (adicional).	200
Figura 85. Fichas de evaluación de Acosvinchos (adicional).	201
Figura 86. Esquema hidráulico de Casaorcco.	202
Figura 87. Esquema hidráulico de Manzanayocc.	202

Figura 88. Esquema hidráulico de Santa Bárbara.	203
Figura 89. Esquema hidráulico de Cusibamba.	203
Figura 90. Esquema hidráulico de Acosvinchos.	204
Figura 91. Aspersor de campo en Casaorcco.	204
Figura 92. Aspersor de campo en Manzanayocc.	205
Figura 93. Aspersor de campo en Santa Bárbara.	205
Figura 94. Aspersor de campo en Cusibamba.	206
Figura 95. Aspersor de campo en Acosvinchos.	207

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características típicas de los aspersores giratorios	29
Tabla 2. Espaciamiento entre aspersores y condiciones específicas del viento.....	30
Tabla 3. Relación entre la presión y el caudal en un aspersor de dos boquillas con diámetros de 4.26 y 2.38 mm cada una.	31
Tabla 4. Velocidades de infiltración de los suelos para su uso en el riego por aspersión.	35
Tabla 5. Presiones y caudales según tipo de aspersor.	37
Tabla 6. Clasificación del CU, según Merriam y Keller.	38
Tabla 7. Clasificación del CU, según Pizarro.	39
Tabla 8. Clasificación del CU, según ASAE.	40
Tabla 9. Clasificación de la velocidad de infiltración.	40
Tabla 10. Vía de acceso a Casaorcco	46
Tabla 11. Vía de acceso a Manzanayocc	46
Tabla 12. Vía de acceso a Cusibamba	46
Tabla 13. Vía de acceso a Santa Bárbara.....	47
Tabla 14. Vía de acceso a Acosvinchos	47
Tabla 15. Variables de análisis dentro de la investigación	52
Tabla 16. Relación de aspersores en campo.	55
Tabla 17. Distanciamiento y altura de aspersores en campo	55
Tabla 18. Distanciamiento de pluviómetros	56
Tabla 19. Horario de realización de pruebas en campo.....	57
Tabla 20. Dimensiones geométricas del reservorio en Casaorcco	59
Tabla 21. Dimensiones geométricas del reservorio en Manzanayocc.....	61
Tabla 22. Dimensiones geométricas del reservorio en Santa Bárbara	63
Tabla 23. Dimensiones geométricas del reservorio en Cusibamba (margen derecho)	65
Tabla 24. Dimensiones geométricas del reservorio en Cusibamba (margen izquierdo)	65
Tabla 25. Dimensiones geométricas de reservorio en Acosvinchos	68
Tabla 26. Análisis de los valores de pluviómetros recolectados en Casaorcco.	72
Tabla 27. Análisis de los valores de pluviómetros recolectados en Manzanayocc... ..	78

Tabla 28. Análisis de los valores de pluviómetros recolectados en Santa Bárbara. .	84
Tabla 29. Análisis de los valores de pluviómetros recolectados en Cusibamba.	90
Tabla 30. Análisis de los valores de pluviómetros recolectados en Acosvinchos. ...	96
Tabla 31. Cuadro resumen de resultados del CUC y demás coeficientes hidráulicos.	101
Tabla 32. Aspersores observados en campo	105
Tabla 33. Velocidades de infiltración obtenidos en campo.	105
Tabla 34 Aspersor recomendado para aumentar CUC.	106
Tabla 35. Análisis de los valores de pluviómetros recolectados de Casaorcco(adicional).	109
Tabla 36. Análisis estadístico de los datos de Santa Bárbara(adicional).....	114
Tabla 37. Análisis estadístico de los datos de Acosvinchos(adicional).	119
Tabla 38. Cuadro comparativo de valores CUC.	123
Tabla 39. Datos tabulados de Casaorcco.	176
Tabla 40. Datos Manzanayocc	177
Tabla 41. Datos Santa Bárbara.....	178
Tabla 42. Datos Cusibamba	179
Tabla 43. Datos Acosvinchos.....	180
Tabla 44. Datos Meteorológicos Casaorcco	181
Tabla 45. Datos Meteorológicos Manzanayocc	182
Tabla 46. Datos Meteorológicos Santa Bárbara.....	183
Tabla 47. Datos Meteorológicos Cusibamba	184
Tabla 48. Datos Meteorológicos Acosvinchos	185
Tabla 49. Datos Casaorcco (adicional).....	186
Tabla 50. Datos Santa Bárbara (adicional).	188
Tabla 51. Datos Acosvinchos (adicional).	189
Tabla 52. Datos Meteorológicos Casaorcco (adicional).....	190
Tabla 53. Datos Meteorológicos Santa Bárbara (adicional).	191
Tabla 54. Datos Meteorológicos Acosvinchos (adicional).	192

RESUMEN

En la región de Ayacucho, es necesario evaluar la eficiencia del riego por aspersión en el Proyecto Cachi ante la ausencia de rangos locales del coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC). Esta investigación analizó el CUC y el desempeño hidráulico en cinco comités de riego de Huamanga (2025). Se instalaron pluviómetros en cuadrículas para calcular el CUC, el coeficiente de variación de descarga (CVD), el coeficiente de distribución (CD) y el índice de desempeño del sistema (IDS). Los comités con pendientes pronunciadas, como Manzanayocc (22.8%) y Casaorcco (10.7%), experimentan fluctuaciones severas de presión que dificultan un caudal homogéneo y reducen el CUC, evidenciando la necesidad de reguladores de presión. En contraste, sectores con relieve plano o moderado como Cusibamba (1.4%), Acosvinchos (7.7%) y Santa Bárbara (7.35%) presentan una menor alteración de presiones, donde la uniformidad depende de una correcta sectorización de las tuberías. Numéricamente, los valores iniciales fueron: Casaorcco (CUC 77%, CVD 27.75%, CD 61.61%, IDS 47.74%), Manzanayocc (CUC 82%, CVD 23.66%, CD 70.55%, IDS 58.22%), Santa Bárbara (CUC 71%, CVD 50.17%, CD 61.98%, IDS 44.02%), Cusibamba (CUC 81%, CVD 26.06%, CD 72.32%, IDS 58.32%) y Acosvinchos (CUC 78%, CVD 26.19%, CD 70.39%, IDS 54.60%). Aunque el CUC refleja una uniformidad media a buena, el CVD, CD e IDS evidenciaron deficiencias operativas. Para corregirlas, se reemplazaron los emisores por el modelo AKONA (KA – 30), incrementando el CUC en Casaorcco (77% a 82.3%), Santa Bárbara (71% a 79%) y Acosvinchos (78% a 84.8%). Esto resulta en problemas de desgaste operativo y estructurales de diseño.

Palabras claves: coeficiente de uniformidad de Christiansen, riego por aspersión, desempeño hidráulico.

ABSTRACT

In the Ayacucho region, it is necessary to evaluate the efficiency of sprinkler irrigation in the Cachi Project due to the lack of local ranges for the Christiansen uniformity coefficient (CUC). This research analyzed the CUC and hydraulic performance in five irrigation districts in Huamanga (2025). Rain gauges were installed in grids to calculate the CUC, the coefficient of variation of discharge (CVD), the distribution coefficient (CD), and the system performance index (IDS). Districts with steep slopes, such as Manzanayocc (22.8%) and Casaorcco (10.7%), experience severe pressure fluctuations that hinder a homogeneous flow and reduce the CUC, highlighting the need for pressure regulators. In contrast, areas with flat or moderate terrain, such as Cusibamba (1.4%), Acosvinchos (7.7%), and Santa Bárbara (7.35%), exhibit less pressure variation, where uniformity depends on proper pipe sectorization. Numerically, the initial values were: Casaorcco (CUC 77%, CVD 27.75%, CD 61.61%, IDS 47.74%), Manzanayocc (CUC 82%, CVD 23.66%, CD 70.55%, IDS 58.22%), Santa Bárbara (CUC 71%, CVD 50.17%, CD 61.98%, IDS 44.02%), Cusibamba (CUC 81%, CVD 26.06%, CD 72.32%, IDS 58.32%), and Acosvinchos (CUC 78%, CVD 26.19%, CD 70.39%, IDS 54.60%). Although the CUC reflects a medium to good uniformity, the CVD, CD, and IDS showed operational deficiencies. To correct these issues, the emitters were replaced with the AKONA (KA-30) model, increasing the CUC in Casaorcco (77% to 82.3%), Santa Bárbara (71% to 79%), and Acosvinchos (78% to 84.8%). This resulted in operational wear and structural design problems.

Keywords: Christiansen uniformity coefficient, sprinkler irrigation, hydraulic performance.

INTRODUCCIÓN

La gestión eficiente del agua constituye uno de los principales desafíos para la sostenibilidad de los sistemas agrícolas a nivel mundial, especialmente en contextos de creciente variabilidad climática y de presión sobre los recursos hídricos. En este escenario, el riego tecnificado se ha consolidado como una herramienta clave para optimizar el uso del agua, mejorar la productividad de los cultivos y garantizar la seguridad alimentaria. Entre los indicadores más relevantes para evaluar el desempeño de estos sistemas se encuentran la eficiencia y la uniformidad de aplicación, parámetros que permiten determinar la distribución adecuada del recurso hídrico en el suelo (Vasquez et al., 2017).

A nivel internacional, países como Israel, España y Estados Unidos han desarrollado tecnologías y metodologías orientadas a maximizar la uniformidad del riego en sistemas presurizados, lo que ha generado incrementos significativos en la eficiencia en el uso del agua. Estas experiencias evidencian que una evaluación técnica adecuada de los sistemas de riego no solo mejora la productividad agrícola, sino que también contribuye a enfrentar problemáticas globales como el cambio climático y la escasez hídrica (FAO, 2021).

La relevancia del desarrollo de esta problemática recae principalmente en el Objetivo de Desarrollo Sostenible 06, orientado a la gestión del agua y el saneamiento, y en el objetivo de Desarrollo Sostenible 02, orientado a erradicar el hambre y promover la seguridad alimentaria (Organización de las Naciones Unidas, 2015). La eficiencia y la uniformidad del riego inciden directamente en la productividad agrícola y en el uso responsable del recurso hídrico, lo que nos lleva a posicionar nuestras variables como aspectos prioritarios en la agenda de sostenibilidad global.

En contraste, en el Perú, la eficiencia de riego se mantiene por debajo de los estándares internacionales, con valores que, en muchos casos, no superan el 30%, debido principalmente al predominio de sistemas tradicionales y a la evaluación técnica limitada de los sistemas instalados (Ministerio de Agricultura y Riego, 2015). Esta situación se ve agravada por el diseño de proyectos basados en parámetros teóricos o extrapolados, que no consideran las condiciones reales de operación en campo.

En la región de Ayacucho, específicamente en la cuenca del Cachi, los sistemas de riego por aspersión instalados en los comités de riego de Casaorcco, Manzanayocc, Santa Bárbara, Cusibamba y Acosvinchos presentan un uso intensivo del recurso hídrico en condiciones de ladera. Sin embargo, estos sistemas evidencian problemas de uniformidad en la aplicación del agua, asociados al desgaste de componentes, a deficiencias en la instalación, a la falta de mantenimiento y a la ausencia de evaluaciones técnicas periódicas. Esta situación justifica medir y analizar el coeficiente de uniformidad como indicador clave del desempeño hidráulico.

En la región de Ayacucho, la problemática es particularmente visible: las prácticas ancestrales de riego persisten, lo que contribuye a un uso ineficiente del agua y incrementa la precariedad de nuestros campos ante escenarios de escasez hídrica. Palomino Huamani (2016) señala que el manejo sostenible del recurso se encuentra limitado tanto a nivel parcelario como en la red de distribución, lo que evidencia la necesidad de implementar estrategias técnicas que permitan gestionar adecuadamente los sistemas de riego. A nivel local, diversos comités de riego cuentan con sistemas de riego por aspersión instalados; no obstante, estos presentan valores de uniformidad

inferiores a los que son contemplados como óptimos, ya sea debido al tiempo de uso y desgaste, a la instalación inadecuada o a la falta de mantenimiento (Huallanca, 2017).

El problema central identificado en esta investigación es la deficiente uniformidad de aplicación del agua en los sistemas de riego por aspersión, condición que suele pasar desapercibida por la falta de evaluaciones técnicas periódicas en campo (Keller & Merriam, Farm irrigation system evaluation: a guide for management, 1978). Esta deficiencia responde principalmente al desconocimiento de los parámetros óptimos de diseño, un mantenimiento insuficiente de las boquillas y emisores, y el uso de valores teóricos no adaptados a las condiciones agroclimáticas reales del sitio (Playán & Mateos, 2006) (Tarjuelo, J. M., et al. ,1999)

Desde una perspectiva técnica, la presente investigación no se limita a un diagnóstico descriptivo, sino que busca identificar las causas que evidencian la baja eficiencia en los sistemas de riego, tales como variaciones de presión y desgaste de las boquillas, con el propósito de proponer mejoras orientadas a la sostenibilidad del sistema hidráulico en la cuenca del Cachi. Este enfoque contribuye a una gestión más eficiente del recurso hídrico, en consonancia con los Objetivos de Desarrollo Sostenible relacionados con el agua y la seguridad alimentaria.

Objetivo general

- Evaluar el Coeficiente de Uniformidad de Christiansen en sistemas de riego por aspersión operativos dentro de cinco comités de riego de la provincia de Huamanga – Ayacucho, 2025.

Objetivos específicos

- Caracterizar y detallar los componentes de cada uno de los sistemas de riego por aspersión en cinco comités seleccionados del área de estudio.
- Aplicar la metodología experimental de Christiansen.
- Comparar los CUC de los comités de riego evaluados y clasificarlos según los estándares de eficiencia.
- Diseñar propuestas técnicas de optimización hidráulica orientadas a incrementar el Coeficiente de Uniformidad (CUC) en los comités de riego.

CAPÍTULO I

MARCO TEORICO

1.1. Antecedentes de la investigación

En la investigación realizada por Barberena et al. (2022) que es titulada *“Extended assessment of sprinkler irrigation uniformity in greenhouses using GIS and hydraulic modeling”* tuvo como objetivo evaluar la uniformidad de distribución del riego por aspersión mediante la medición del Coeficiente de Uniformidad de Christiansen en invernaderos de España. La metodología combinó la instalación de pluviómetros para medir la lámina aplicada con modelación hidráulica mediante EPANET y análisis espacial SIG para representar variaciones en presión y distribución del agua. Los resultados mostraron que el coeficiente de uniformidad de Christiansen medido en campo fue de 82.93% en el área evaluada y de 76.40% al extrapolarse al sector completo, en promedio se obtuvo un coeficiente de 80.92% tanto en trabajo a presión máxima un 74.97% y a mínima 72.24%. El aporte científico de este trabajo radica en demostrar la importancia del análisis hidráulico y espacial para mejorar la uniformidad del riego, proporcionando una base metodológica replicable en evaluaciones de campo abierto como las previstas en los comites de riego de Huamanga.

En la investigación realizada por Elhussiny et al. (2023) que es titulada *“Evaluation of Uniformity and Efficiency in Pressurized Sprinkler Irrigation Systems”* tuvo como objetivo predecir la uniformidad de distribución del riego por aspersión, incluyendo el Coeficiente de Uniformidad de Christiansen, empleando mediciones experimentales combinadas con algoritmos de aprendizaje automático. Su metodología consistió en realizar ensayos con aspersores bajo diferentes condiciones

de presión, viento y espaciamiento, midiendo la lámina aplicada con pluviómetros y calculando CUC y DU como indicadores de desempeño; posteriormente se entrenaron modelos como Random Forest y XGBoost para estimar la uniformidad. Los resultados evidenciaron que las condiciones evaluadas incluyen presiones desde 1.5 bar a 2.5 bar, también que las alturas de aspersores rondan de 0.5m – 1.5m y diámetros de boquilla de 2.5mm – 4.2mm; además, también afectaron variables climáticas con temperaturas de entre 26 °C y 36.2 °C, velocidades del viento entre 0 – 4 m/seg y humedad relativa entre 37% – 82% todas estas condiciones resultaron en el valor numérico de CU rondando entre los 72.7% a 87.3%. Su principal aporte científico consiste en introducir herramientas predictivas aplicables a la gestión eficiente del riego, aportando un marco teórico moderno que puede complementar las evaluaciones tradicionales de CUC en sistemas rurales como los de Ayacucho.

Barboza Blanco & Mijahuanca Chuquillanque (2022), realizó la investigación: *“Evaluación del Coeficiente de Uniformidad y Eficiencia de Aplicación del sistema de riego por aspersión Veras - Sector Yerba Buena, Cajamarca”* la cual fue elaborada con el objetivo de determinar el Coeficiente de Uniformidad de Christiansen y la eficiencia de aplicación de un sistema de riego por aspersión instalado en una zona agrícola rural al norte del Perú. La metodología empleada incluyó la distribución de pluviómetros a distancia regulares, medición de la lámina de agua aplicada, registro de presión en distintos puntos y cálculo del CUC bajo condiciones reales de operación. Los resultados revelaron que los valores de uniformidad muestran una variabilidad amplia según presión, viento, espaciado y tipo de aspersor; en sistemas andinos con mini cañones el CUC osciló entre 55.34% y 87.42%, mientras que el DU varió entre 26.88% y 80.79%, con mejor desempeño cuando la velocidad del viento fue menor a

2 m/seg. El aporte científico se centra en validar la importancia de medir el CUC en sistemas rurales peruanos, destacando como deficiencias simples en el diseño o la operación reducen considerablemente la eficiencia del riego, información clave para comparaciones en la región de Ayacucho.

Chávez Alvis (2024/2025), realizó la investigación: *“Evaluación del coeficiente de uniformidad en el sistema de riego por aspersión en ladera usando tres modelos de aspersores y tres pendientes en Llusco (Cusco)”* la cual fue realizada con el objetivo de evaluar el desempeño de diferentes modelos de aspersores bajo distintas condiciones de pendiente, mediante el cálculo del Coeficiente de Uniformidad de Christiansen. La metodología consistió en instalar tres tipos de aspersores en terrenos con pendientes del 0%, 12% y 25%, medir la lámina aplicada mediante pluviómetros y registrar parámetros operativos como presión y caudal. Los resultados mostraron que el CUC disminuye conforme aumenta la pendiente, y que algunos modelos de aspersores son más sensibles que otros a los cambios topográficos. El aporte científico de esta investigación radica en evidenciar el efecto de la topografía sobre la uniformidad, lo cual resulta sumamente relevante para zonas altoandinas como Ayacucho, donde las pendientes y variaciones de relieve afectan el desempeño de los sistemas de aspersión.

Añanca Huaman (2024), realizó la investigación: *“Evaluación de coeficiente de uniformidad de sistema de riego por aspersión en el cultivo de arveja en Chacabamba a 2955 m.s.n.m. – Ayacucho, 2023”* tuvo como objetivo evaluar el Coeficiente de Uniformidad de Christiansen en un sistema de riego por aspersión trabajando en condiciones altoandinas. Su metodología incluyó la instalación de más de 50 recipientes de recolección o pluviómetros para medir la distribución de la lámina

aplicada, registro de presión y caudal del sistema, y cálculo del CUC bajo criterios estandarizados. Los resultados mostraron un CUC promedio de 83.81%, clasificado como “bueno”, aunque se identificaron zonas con menor uniformidad debido a pérdidas de carga y diferencias en la topografía. El principal aporte científico del estudio radica en proporcionar evidencia local de cómo la altitud, la presión disponible y el relieve influyen directamente en la uniformidad del riego en Ayacucho, convirtiéndose en un antecedente directo para sistemas similares en Huamanga.

Inca Capcha & Vásquez Bernal (2023) realizó la investigación: *“Implementación de un piloto experimental con un sistema de hidráulico para mejorar la eficiencia del riego y el control de heladas en cultivos altoandinos – Carmen Salcedo (Andamarca), Ayacucho, 2023”* tuvo como objetivo evaluar el desempeño de una sistema presurizado experimental como alternativa para mejorar la eficiencia del riego y la distribución del agua. La metodología incluyó la instalación de un sistema hidráulico piloto, mediciones de caudal, presión, cobertura de riego y pruebas de campo que permitieron analizar la uniformidad de aplicación de agua. Los resultados mostraron mejoras significativas en la eficiencia y distribución respecto a los sistemas tradicionales, así como la identificación de parámetros operativos críticos. El aporte científico de este proyecto radica en generar evidencia local sobre el comportamiento de sistemas presurizados en condiciones altoandinas, aportando información relevante para la mejora de los sistema de aspersión en los comites de riego de la provincia de Huamanga.

1.2. Bases teóricas

1.2.1. Riego

El riego es la aplicación oportuna y uniforme del agua en el perfil del suelo, con la finalidad de reponer el agua consumida por los cultivos presentes en estas extensiones de terreno. También debe advertirse acerca de los cuidados que se debe de tener al realizar los riegos porque si se realiza de manera inadecuada puede ocasionar la erosión del suelo y afectar de manera directa a la productividad del cultivo.

Adicionalmente a lo antes mencionado se debe conocer que la definición de un buen riego no es aquel que moja de manera uniforme la superficie del suelo, sino aquel que moja adecuadamente el perfil del suelo donde se halla gran cantidad de las masas de raíces de los cultivos.

1.2.2. Objetivos del riego

De acuerdo con Vasquez et al. (2017), los objetivos principales que se pretenden alcanzar mediante la práctica del riego son:

- Suministrar el agua necesaria a la zona radicular para el desarrollo óptimo de la planta.
- Realizar el lavado de sales en el suelo para mantener un equilibrio salino favorable al cultivo.
- Acondicionar el microclima mediante el enfriamiento por evaporación y, si es necesario, retardar la formación de brotes.
- Mitigar o eliminar los efectos perjudiciales de las heladas.
- Inducir reacciones fisiológicas que favorezcan la floración, la maduración y la concentración de azúcares.

- Aplicar agua en la zona de las raíces para favorecer el crecimiento de la planta.
- Lavado de sales en la zona de raíces del suelo, a fin de mantener un equilibrio salino favorable para el cultivo.
- Retardar la formación de brotes mediante el enfriamiento por evaporación.
- Crear un microclima favorable para el crecimiento de la planta mediante el enfriamiento del suelo y del aire circundante.
- Disminuir o eliminar los efectos perjudiciales de las heladas.
- Controlar algunas plagas en el caso de riego por gravedad.
- Inducir reacciones fisiológicas que favorezcan la producción: floración, maduración y concentración de azúcares, entre otras.

1.2.3. Métodos de riego a presión

Según Sandoval (2007), estos sistemas funcionan transportando agua a presión mediante una red de tuberías hasta alcanzar la parcela, donde el agua se libera a través de emisores, como aspersores o góteros, cuyo tipo varía según el método utilizado. Los métodos de riego a presión se clasifican en riego por aspersión o aéreo y en riego por goteo.

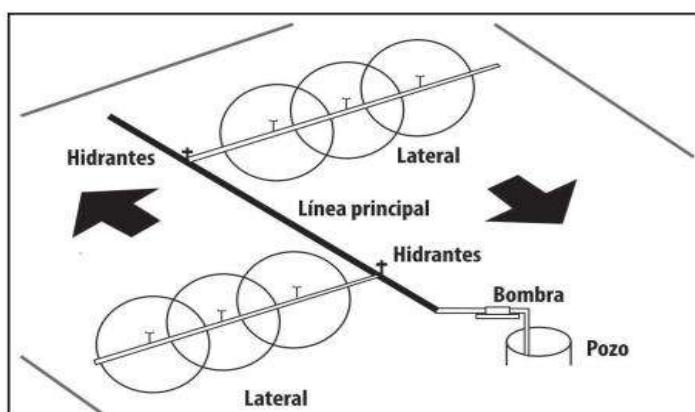
Según Castañón (2000), este método representó un avance en la tecnología del riego, ya que antes solo se regaba por gravedad. En poco tiempo, aumentó de manera espectacular su uso en los regadíos, debido a su mayor adaptabilidad en terrenos con topografía y propiedades físicas poco propicias para el riego tradicional y a la posibilidad de regar nuevas tierras que, hasta entonces, se consideraban no aptas para el riego por carecer de la tecnología adecuada.

1.2.4. Riego por aspersión

Según Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (2023) el riego por aspersión es el método de riego que más se asemeja a la forma en que se desarrolla la lluvia en el campo y bajo este nombre se agrupan a todas las formas de aplicar el agua de riego en que la misma se distribuye por medio de una red de tuberías con la utilización generalmente de algún tipo de bombeo para originar presión y un dispositivo conocido como aspersor para lograr que el agua caiga pulverizada en pequeñas gotas sobre el suelo.

Figura 1.

Esquema simplificado de un sistema de riego por aspersión.



Nota: Boletín informativo acerca del uso eficiente de sistemas de riego. (Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, 2023)

1.2.5. Ventajas e inconvenientes del riego por aspersión

Según recomienda el Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (2023) para poder tomar decisiones convenientes sobre cuando utilizar el riego por aspersión o no, a continuación, se compara el mismo con el riego por superficie.

☼ **Ventajas del riego por aspersión**

- Requiere menor cantidad de mano de obra y esta no necesita ser altamente calificada.
- No exige la preparación previa o nivelación del terreno, lo que evita la pérdida de fertilidad del suelo.
- Es apto para una amplia variedad de suelos, incluidos los de alta permeabilidad.
- Presenta una eficiencia superior, alcanzando niveles del 75% al 80%, frente al 40% o 60% del riego por superficie.
- Se necesita menos manos de obra y menos calificada que en el riego por superficie ya que, en este último, el que riega, además de trabajo efectivo del manejo del agua, tiene que prestar atención permanente al riego.
- No es necesaria la preparación previa del terreno, tanto en terrenos llanos como ondulados. Al suprimir la nivelación del terreno se evita la pérdida de la fertilidad del suelo y, por otro lado, se aprovecha toda la superficie del suelo regable, al no tener necesidad de obras de entrega de agua, canales, etc.
- Se puede utilizar una gran variedad de suelos, incluso aquellos muy permeables que exigen riegos frecuentes.
- La eficiencia, es decir, el agua que llega a la planta del total empleado, en el riego pos – aspersión es del 75% al 80% y en el riego pos superficie es del 40% al 60%.
- Se puede utilizar para realizar tratamientos fertilizantes o fitosanitarios.

- Es muy útil para dar pequeñas dosis de riego, necesarias a veces cuando se necesita un riego de germinación o cuando se pretende mejorar la superficie del suelo para la preparación o la siembra.

☼ **Inconvenientes del riego por aspersión**

- Elevado costo de la inversión, la cual es proporcionalmente mayor cuanto menor es la parcela a regar.
- Las pérdidas de agua por evaporación pueden ser más elevadas que con otros sistemas de riego.
- En algunos cultivos y fechas, la aspersión puede perjudicar la polinización y favorecer la propagación de enfermedades transmitidas por hongos al elevar la humedad en el entorno de la planta.

1.2.6. Elementos que componen un sistema de riego por aspersión

Dentro de los elementos que se nombraran a continuación no son únicos, además, las características particulares de cada sistema pueden incorporar algunos elementos que no están considerando en la descripción:

- **Captación:** Para Soto (2002) menciona que se ubica en la fuente y esta puede ser un manantial, un canal o alguna quebrada, para el caso del riego en laderas, generalmente se utilizan manantiales de pequeños caudales que varían entre 0.1 a 3 lt/s o más.
- **Línea de conducción:** Para Soto (2002) menciona que es la tubería que conduce el agua desde la fuente hasta la cámara de distribución o punto de repartición.

- ***Cámara de distribución:*** Para Soto (2002) menciona que es la estructura donde el caudal que viene por la tubería de conducción es repartido mediante vertederos u orificios, dependiendo de los caudales y de las áreas a irrigar.
- ***Reservorios o cámaras de carga:*** Para Soto (2002) menciona que es la estructura donde se almacena el caudal que viene del manante, el dimensionamiento de esta se hace de acuerdo al área a irrigar y al caudal disponible. Se aconseja que los reservorios se distribuyan por sectores.
- ***Red de distribución:*** Para Soto (2002) menciona que es el sistema de tuberías que conduce el agua desde los reservorios hasta los hidrantes ubicados en las parcelas a irrigarse.
- ***Hidrantes:*** Para Soto (2002) menciona que es el punto de toma de agua o conexión que se ubica en la parcela a irrigar y que conecta a la red de distribución con la unidad móvil, conformada por una manguera que se va a utilizar para regar con los aspersores.
- ***Mangueras:*** Para Soto (2002) menciona que generalmente se utilizan de polietileno, y es en estas donde se conectan los elevadores en que van los aspersores.
- ***Elevadores:*** Para Soto (2002) menciona que es un accesorio que permite colocar el aspersor por encima de las mangueras. Usualmente se utiliza tubería PVC de ½” o de ¾” dependiendo del diámetro de la conexión que tenga el aspersor.

- **Aspersores:** Para Soto (2002) menciona que son encargados de asperjar o distribuir el agua al terreno de forma continua con un grado de uniformidad y aspersión adecuada.

Tabla 1.

Características típicas de los aspersores giratorios

ASPERSORES AGRÍCOLAS (dos boquillas)	TAMAÑO BOQUILLA (mm)	PRESIÓN DE OPERACIÓN (bar)	GASTO (m ³ /hr)	DIÁMETRO DE COBERTURA (m)
Baja presión	3.0 – 4.5 x 2.5 – 3.5	1.5 – 2.5	0.3 – 1.5	12 – 21
Media presión	4.0 – 6.0 x 2.5 – 4.20	2.5 – 3.5	1.5 – 3.0	25 – 35
Alta presión	12.0 – 25.0 x 5.0 – 8.0	4.0 – 9.0	5.0 – 45.0	60 – 80

Nota: Boletín informativo acerca del uso eficiente de sistemas de riego. (Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, 2023)

- **Piezas auxiliares:** Para Soto (2002) menciona que son accesorios necesarios que permiten la conexión entre las partes y la adaptación del sistema a la topografía del terreno, generalmente son acoples, codos, válvulas, reductores, tapones, etc.

1.2.7. Eficiencia de riego (Er)

La eficiencia de riego está dada por la relación entre el volumen de agua evapotranspirada por las plantas y evaporada del suelo (ET_o) más la cantidad de agua necesaria para mantener una concentración adecuada de sales en el perfil enraizado del suelo, menos la precipitación efectiva caída, menos la ascensión capilar.

1.2.8. Eficiencia de aplicación

Según Burt et al. (1997) menciona que es la cantidad de agua aplicada que realmente queda disponible en la zona radicular útil para el cultivo.

1.2.9. Lámina de riego

Para Allen et al. (1998) es la altura de agua que se acumula en una superficie durante un riego, medida comúnmente en mm; base para los cálculos de uniformidad.

1.2.10. Desviación media absoluta

Según Christiansen (1942) promedio de diferencias absolutas entre la lámina de cada colector y la lámina promedio. Es el componente central del cálculo del CUC.

1.2.11. Pérdidas de carga

Reducción de presión en tuberías debido a fricción, cambios de dirección o accesorios, que afecta el desempeño de los aspersores. (Streeter, et al., 1998)

1.2.12. Aspectos técnicos del diseño

- **Espaciamiento:** el espaciamiento es determinado por la cobertura circular del aspersor en el suelo y la velocidad del viento.

Tabla 2.

Espaciamiento entre aspersores y condiciones específicas del viento.

Tipo de espaciamiento	Velocidad de viento	Distancia entre aspersores
Espaciamiento cuadrangular y rectangular	Sin viento	65 % del diámetro
	2 m/seg	60 % del diámetro
	3.5 m/seg	50 % del diámetro
	Más de 3.5 m/seg	30 % del diámetro
Espaciamiento triangular o escalonado	Sin viento	75 % del diámetro
	2 m/seg	70 % del diámetro
	3.5 m/seg	60 % del diámetro
	Más de 3.5 m/seg	35 % del diámetro

Nota: Manual de información Técnica de NAAN.

- **Diámetro de boquilla:** el diámetro del orificio de la boquilla es calculado en milímetros o pulgadas.
- **Presión en el aspersor:** la presión se registra en el cabezal del aspersor, cuando este funciona. La presión es calculada en atmosferas.
- **Caudal:** la cantidad de agua que entrega un aspersor depende del diámetro de su/s boquillas y de la presión de funcionamiento del mismo. Cuanto mayor sea la presión que apliquemos el caudal será mayor, y los mismos varían generalmente entre 3.6 y 3000 litros/minuto. (Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, 2023)

Tabla 3.

Relación entre la presión y el caudal en un aspersor de dos boquillas con diámetros de 4.26 y 2.38 mm cada una.

PRESIÓN (m.c.a.)	CAUDAL	
	litros / minuto	litros / segundo
17.5	3.0	1.5
21.0	22.6	0.4
24.6	24.8	0.4
31.6	28.1	0.5
35.1	30.0	0.5
42.1	32.5	0.5

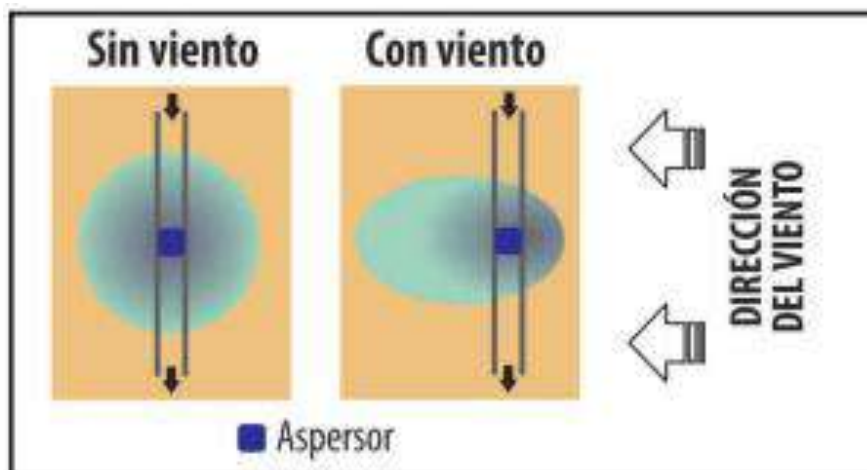
Nota: Boletín informativo acerca del uso eficiente de sistemas de riego. (Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, 2023)

- **Alcance:** este es un elemento importante ya que determina el área que puede mojar un aspersor. El alcance depende del ángulo de inclinación de la boquilla y de la presión de funcionamiento. El máximo, alcance se obtendría con una inclinación de la boquilla de 45°, pero esta inclinación no suele utilizarse porque el chorro sería muy afectado por el viento,

disminuyendo con ello la eficiencia del riego. (Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, 2023)

Figura 2.

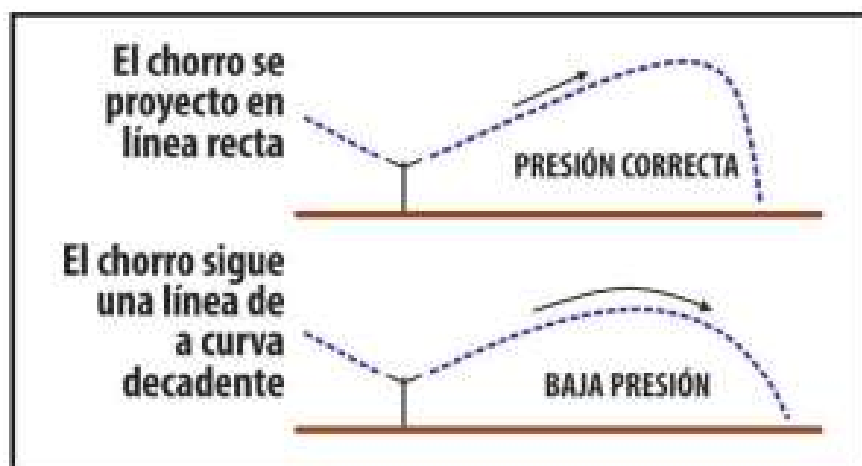
Efecto del viento en la distribución del agua por un aspersor.



Nota: Boletín informativo acerca del uso eficiente de sistemas de riego. (Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, 2023)

Figura 3.

Método aproximado de fijar la presión correcta de un aspersor.



Fuente: Boletín informativo acerca del uso eficiente de sistemas de riego. (Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, 2023)

1.2.13. Pulverización

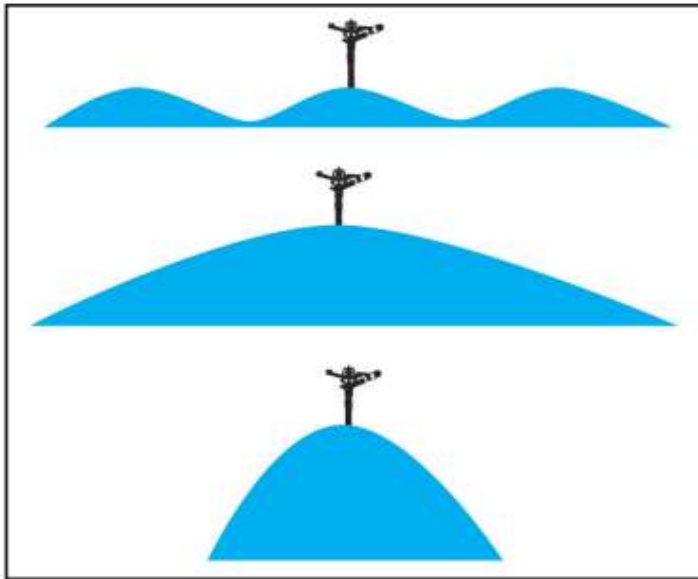
Hace referencia al tamaño de las gotas de agua que son expulsadas por el aspersor el cual es un factor importante en la calidad de riego. Debido a que un tamaño inadecuado de las gotas puede afectar de manera negativa a las plantas, al suelo, a la uniformidad de distribución del agua y a la eficiencia del riego. (Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, 2023)

Algunos efectos del tamaño inadecuado de las gotas son:

- El impacto de gotas de mayor tamaño puede afectar a los cultivos delicados o la floración en cultivos.
- Por otro lado, cuando las gotas son de menor tamaño el riesgo de disminución en la eficiencia de riego es mayor debido a que aumenta las pérdidas por evaporación.
- Otro factor negativo frente a las gotas de menor tamaño es que la uniformidad de riego se ve afectada por la presencia de vientos.
- También el dimensionamiento de las gotas es determinado una por las presiones que maneja el aspersor y otro por el diámetro de la boquilla del aspersor.

Figura 4.

Efecto de la presión en la distribución del agua por el aspersor.



Nota: Boletín informativo acerca del uso eficiente de sistemas de riego. (Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, 2023)

1.2.14. Pluviometría del aspersor

Este aspecto menciona la pluviometría del aspersor que indica la intensidad con que se aplica el riego, es decir la cantidad de agua recibida por el suelo en un tiempo determinado, y se suele expresar en mm/hora.

La pluviometría se calcula con la siguiente formula:

$$P = \frac{Q}{S} \dots\dots (1)$$

P = pluviometría (mm/hr)

Q = caudal del aspersor (lt/hr)

S = superficie útil de riego (m²)

Tabla 4.

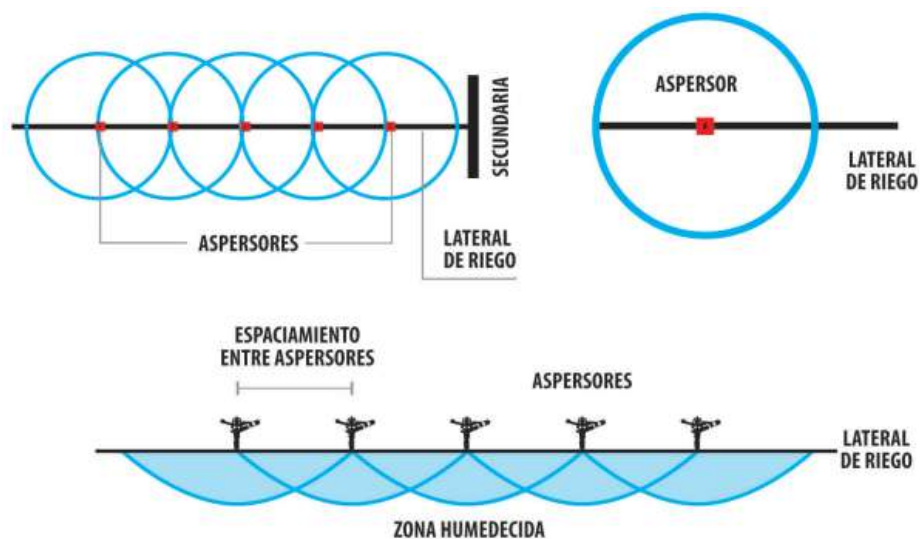
Velocidades de infiltración de los suelos para su uso en el riego por aspersión.

TIPO DE SUELO	VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN (mm / hora)
Arcilloso	1 – 5
Arcilla limosa	6 – 8
Limo	7 – 10
Arena limosa	8 – 12
Arenoso	10 – 25

Nota: Boletín informativo acerca del uso eficiente de sistemas de riego. (Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, 2023)

Figura 5.

Esquema de humedecimiento.



Fuente: Boletín informativo acerca del uso eficiente de sistemas de riego. (Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, 2023)

1.2.15. Uniformidad de riego / uniformidad de distribución del agua

Oweis, T. y Hachum, A. (2006) mencionan que el grado de homogeneidad con que el sistema distribuye el agua sobre el área de riego; evalúa que tan parejo es el aporte hídrico entre todos los puntos del terreno.

1.2.16. Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (CUC)

Christiansen, J.E. (1942) determino un indicador cuantitativo de uniformidad de riego que se calcula con base en la desviación absoluta de las láminas recogidas en colectores respecto a la lámina promedio.

$$CUC = \left(1 - \frac{\sum |X_i - \bar{X}|}{n * \bar{X}} \right) \times 100$$

1.2.17. Caudal del aspersor

Jensen, M.E. y Allen, R.G. (2016) volumen de agua que emite un aspersor por unidad de tiempo bajo condiciones de presión determinadas; influye en su patrón de distribución.

1.2.18. Presión de operación

Burt et al. (1997) menciona que la presión hidráulica mínima necesaria para que los aspersores funcionen correctamente según su especificación, garantizando su alcance y uniformidad de aplicación.

Tabla 5.*Presiones y caudales según tipo de aspersor.*

Tipo de aspersor	Rango de presión (bar)	Rango de presión (PSI)	Radio de alcance	Rango de caudal de trabajo	Aplicación principal / uso común
Baja presión	1.0 – 2.0 bar	15 – 30 PSI	6 – 12 m	0.2 a 1.5 m ³ /hr (200 – 1500 L/hr)	Riego en invernaderos, pequeños sistemas presurizados y riego parcelario
Media presión	2.0 – 4.5 bar	30 – 65 PSI	12 – 25 m	1.0 a 5.0 m ³ /hr (1000 – 5000 L/hr)	Cultivos agronómicos extensivos, frutales y sistemas fijos o móviles
Alta presión	4.5 – 8.0+ bar	65 – 115+ PSI	25 – 50+ m	5.0 a 25.0 + m ³ /hr (5000 – 25000 + L/hr)	Cañones de riego, grandes superficies de pastizales, cultivos industriales

Nota: Los valores de caudal son referencial y varían directamente según el diámetro de la boquilla. (Instituto de Investigaciones Agropecuarias, 2001)

1.2.19. Criterios de evaluación y clasificación del CU

En la ingeniería de riego presurizado y de manera específica en los sistemas por aspersión, la cuantificación de la calidad de distribución del agua constituye un pilar fundamental para garantizar la eficiencia agronómica e hídrica. A finales de la década de 1970 y principios de los 80, los investigadores John L. Merriam y Jack Keller revolucionaron la evaluación del campo al introducir conceptos prácticos enfocados no solo en promedios estadísticos, sino en las condiciones reales de operación y en el desempeño del sector de riego más desfavorable.

- **Según Merriam y Keller;** en la literatura técnica derivada de las metodologías de Merriam y Keller, los valores de uniformidad de distribución se interpretan bajo los siguientes rangos de desempeño agronómico:

Tabla 6.

Clasificación del CU, según Merriam y Keller.

Valor del coeficiente de uniformidad (CU)	Calificación del desempeño operativo	Implicancia práctica en el riego por aspersión
$CU \geq 85\%$	Excelente / muy bueno	Sistema operando bajo condiciones óptimas de diseño y presiones estables.
$75\% \leq CU < 85\%$	Bueno	Rango aceptable en la mayoría de proyectos agrícolas tecnificados comerciales.
$60\% \leq CU < 75\%$	Regular / Marginal	Indica problemas moderados de presiones descompensadas, espaciamientos inadecuados entre aspersores o efecto de vientos moderados.
$CU < 60\%$	Pobre / Inaceptable	Alta inequidad en la aplicación del agua. Ciertas zonas sufren estrés hídrico severo mientras otras se encharcan.

Nota: Se relaciona directamente la uniformidad de distribución de agua en el área de riego, identificando fallas operativas en campo. (Keller & Merriam, Farm irrigation system evaluation: a guide for management, 1978)

- **Según Fernando Pizarro Cabello;** en su obra clásica *Riegos localizados de alta frecuencia*, el profesor Fernando Pizarro establece criterios prácticos basados en la relación entre la uniformidad de aplicación y la eficiencia de riego en campo. Pizarro destaca que la uniformidad determina directamente la fracción de la parcela que sufrirá déficit hídrico si no se sobre irriga para compensar las diferencias. Los rangos de evaluación del coeficiente de uniformidad según Pizarro se estructuran de la siguiente manera:

Tabla 7.*Clasificación del CU, según Pizarro.*

Rango de uniformidad (%)	Calificación del sistema	Criterio de operación e implicancias agronómicas
Mayor a 90%	Excelente	Sistema de diseño y operación sobresaliente. Ideal para cultivos de alto valor comercial o condiciones edafoclimáticas muy restrictivas.
80% - 90%	Bueno	Nivel esperado en instalaciones modernas bien proyectadas y mantenidas. Las pérdidas por percolación profunda y el déficit son mínimos.
70% - 80%	Medio / regular	Aceptable en sistemas antiguos o de gran escala, pero requiere ajustes operativos.
60% - 70%	Malo / deficiente	Presencia notable de zonas con déficit hídrico. Obliga al agricultor a aplicar láminas de agua excesivas para compensar las áreas secas.
Menor a 60%	Inaceptable	El sistema presenta fallas graves de diseño hidráulico o mantenimiento crítico.

Nota: Se relaciona directamente la uniformidad de distribución de agua en el área de riego, identificando fallas operativas en campo. (Pizarro Cabello, 1996)

- **Según la ASAE / ASABE;** La ASAE ha emitido normativas y estándares técnicos orientados a estandarizar los parámetros de rendimiento en sistemas de riego por aspersión. Su clasificación se enfoca tanto en el CUC como en el DU, estableciendo umbrales orientados a la gestión comercial y auditoría hídrica:

Tabla 8.*Clasificación del CU, según ASAE.*

Rango del coeficiente de uniformidad (%)	Categoría de desempeño (ASAE)	Descripción técnica y aplicación
85% o más	Excelente	Nivel óptimo exigido para agricultura intensiva, fertirriego avanzado y sistemas automatizados de alta precisión.
80% - 84%	Bueno	Considerado el estándar mínimo deseable para proyectos de inversión pública o privada en riego presurizado comercial.
70% - 79%	Regular / marginal	Aceptable únicamente si los costos de bombeo son bajos o si el cultivo posee alta tolerancia al estrés hídrico temporal.
Menor a 70%	Inaceptable / pobre	Requiere una reingeniería del sistema, modificación de la red de tuberías o reemplazo de los emisores / boquillas.

Nota: Se relaciona directamente la uniformidad de distribución de agua en el área de riego, identificando fallas operativas en campo. (American Society of Agricultural Engineers, 1985)

1.2.20. Infiltración

Según Jose M. Tarjuelo (1999) se entiende como el proceso de ingreso del agua en el suelo como finalidad de gran relevancia durante la ejecución del riego. Aquel parametro que representa la infiltración estabilizada o infiltración constante que se tiene después de cierto tiempo.

Tabla 9.*Clasificación de la velocidad de infiltración.*

Tipo de Suelo	Velocidad de infiltración (mm/hr)
Arenoso	30
Franco arenoso	20 – 30
Franco	10 – 20
Franco arcilloso	5 – 10
Arcilloso	5

Nota: Se relaciona directamente la velocidad de infiltración del agua en el área con el tipo de suelo existente en el área. (Tarjuelo Martin-Benito, 1999)

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1. Ubicación

El presente trabajo de tesis se desarrolló en 05 diferentes lugares los cuales son Casaorcco, Manzanayocc, Santa Barbara, Cusibamba y Acosvinchos. Todos estos lugares están dentro del departamento de Ayacucho, la altitud promedio que se maneja es de 3260 m.s.n.m, por otro lado, todos los sistemas de riego por aspersión tienen reservorios que son alimentados por el canal principal del proyecto Cachi.

2.1.1. Ubicación política

La ubicación política de cada zona de estudio fueron los siguientes: se adjuntarán en el anexo los planos de ubicación política.

- Casaorcco

- Departamento : Ayacucho
- Provincia : Huamanga
- Distrito : Carmen Alto
- Centro poblado: Casaorcco

- Manzanayocc

- Departamento : Ayacucho
- Provincia : Huamanga
- Distrito : Vinchos
- Centro poblado: Manzanayocc

- Santa Bárbara

- Departamento : Ayacucho

- Provincia : Huamanga
- Distrito : Tambillo
- Centro poblado: Santa Bárbara

- **Cusibamba**

- Departamento : Ayacucho
- Provincia : Cangallo
- Distrito : San Juan de Yanac
- Centro poblado: Cusibamba

- **Acosvinchos**

- Departamento : Ayacucho
- Provincia : Huamanga
- Distrito : Acosvinchos

2.1.2. Ubicación geográfica

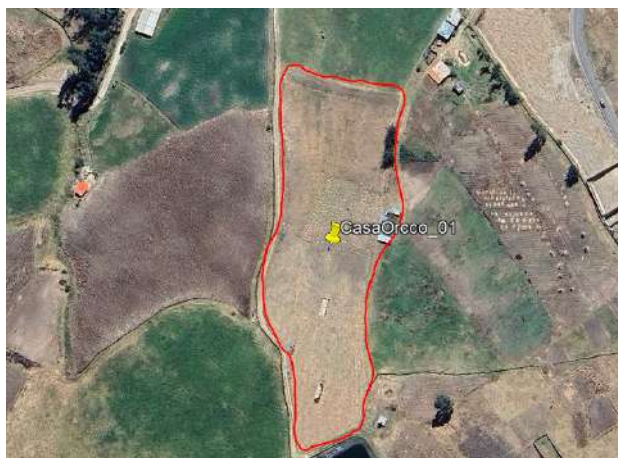
La ubicación geográfica de cada zona de estudio son las siguientes:

- **Casaorcco**

- Coordenada UTM Norte : 8537875.00 m S
- Coordenada UTM Este : 583675.00 m E
- Altitud : 3329 m.s.n.m.

Figura 6.

Imagen satelital de la parcela de estudio en Casaorcco



Nota: *Elaboración a partir de Google Earth.*

La parcela tiene una superficie (área) total de 1.5 Ha implementado con riego tecnificado por aspersión.

- Manzanayocc

- Coordenada UTM Norte : 8522922.00 m S
- Coordenada UTM Este : 577079.00 m E
- Altitud : 3548 m.s.n.m.

Figura 7.

Imagen satelital de la parcela de estudio en Manzanayocc



Nota: *Elaboración a partir de Google Earth.*

La parcela tiene una superficie (área) total de 0.5 Ha implementado con riego tecnificado por aspersión.

- **Cusibamba**

- Coordenada UTM Norte : 8515717.00 m S
- Coordenada UTM Este : 581507.00 m E
- Altitud : 3661 m.s.n.m.

Figura 8.

Imagen satelital de la parcela de estudio en Cusibamba



Nota: Elaboración a partir de Google Earth.

La parcela tiene una superficie (área) total de 0.73 Ha implementada con riego tecnificado por aspersión.

- **Santa Bárbara**

- Coordenada UTM Norte : 8541871.00 m S
- Coordenada UTM Este : 590675.00 m E
- Altitud : 2912 m.s.n.m.

Figura 9.

Imagen satelital de la parcela de estudio en Santa Bárbara.



Nota: *Elaboración a partir de Google Earth.*

La parcela tiene una superficie (área) total de 0.5 Ha implementada con riego tecnificado por aspersión.

- Acosvinchos

- Coordenada UTM Norte : 8549664.00 m S
- Coordenada UTM Este : 597936.00 m E
- Altitud : 2854 m.s.n.m.

Figura 10.

Imagen satelital de la parcela de estudio en Acosvinchos



Nota: *Elaboración propia a partir de Google Earth.*

La parcela tiene una superficie (área) total 0.23 Ha implementada con riego tecnificado por aspersión.

2.2. Vías de acceso

Todas las parcelas de estudio tienen accesos por vías carrozables, y todas salen de la ciudad de Huamanga en cada caso tiene un diferente tiempo de llegada para cada punto:

A. Casaorcco

Tabla 10.

Vía de acceso a Casaorcco

Tramo	Distancia (km)	Tiempo (horas)	Tipo de vía	Estado de vía
Huamanga - Casaorcco	11.8	0.42	Asfaltada	Buena

B. Manzanayocc

Tabla 11.

Vía de acceso a Manzanayocc

Tramo	Distancia (km)	Tiempo (horas)	Tipo de vía	Estado de vía
Huamanga - Manzanayocc	44	1.52	Asfaltada y trocha carrozable	Buena

C. Cusibamba

Tabla 12.

Vía de acceso a Cusibamba

Tramo	Distancia (km)	Tiempo (horas)	Tipo de vía	Estado de vía
Huamanga - Cusibamba	58.8	1.48	Asfaltada y trocha carrozable	Buena

D. Santa Bárbara

Tabla 13.

Vía de acceso a Santa Bárbara

Tramo	Distancia (km)	Tiempo (horas)	Tipo de vía	Estado de vía
Huamanga – Santa Bárbara	11	0.5	Trocha carrozable	Buena

E. Acosvinchos

Tabla 14.

Vía de acceso a Acosvinchos

Tramo	Distancia (km)	Tiempo (horas)	Tipo de vía	Estado de vía
Huamanga - Acosvinchos	53.1	1.75	Trocha carrozable	Buena

2.3. Características climáticas

Para realizar la caracterización climática del área de estudio, los registros meteorológicos correspondientes a las variables de temperatura fueron extraídos de la base de datos oficial del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAHMI) y también de la memoria descriptiva del proyecto especial “Rio Cachi”. Esta información permitió determinar los rasgos climáticos y ambientales que se observan en campo. (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, 2025) (Gobierno Regional de Ayacucho, 2006)

A. Casaorcco

El clima de la zona de Casaorcco se caracteriza por ser una zona con frío y con estaciones secas y húmedas a la vez, que es una situación típica en la sierra. Además, los veranos son cortos, frescos y con nubosidad recurrente, por otro lado, los inviernos son más largos, secos y frescos, con temperaturas que pueden variar entre 8°C y 22°C,

aunque raras veces las temperaturas bajan a los 5°C o alcanzan temperaturas de los 25°C durante todo el año.

B. Manzanayocc

El clima de la zona de Manzanayocc es caracterizado por un clima templado y seco, en la cual se puede visualizar dos estaciones bien marcadas: temporada seca de mayo a octubre con días soleados y noches frías (teniendo como máximo 24°C y un mínimo de 0°C) y, por otro lado, una temporada de lluvias de noviembre a abril, donde las temperaturas logran descender hasta los -3°C, esto debe a la influencia por la cordillera andina.

C. Cusibamba

El clima de la zona de Cusibamba es caracterizado por ser zona montañosa o andina, que posee temperaturas bajas y una fuerte presencia de nubosidad y lluvia, estas logran alcanzar temperaturas mínimas de 3°C y llegan a temperaturas máximas de 23°C.

D. Santa Bárbara

El clima de la zona de Santa Bárbara es caracterizado por ser templado y seco. Además, se tiene temporada de lluvias que esta va de noviembre a abril, también una temporada seca que va de mayo a octubre. Las temperaturas son moderadas, tiene temperaturas de varían en promedio de 16°C, por otro lado, se pueden visar heladas en los meses de inviernos que están entre los meses de junio a agosto.

E. Acosvinchos

El clima de la zona de Acosvinchos es caracterizado por ser templado y seco, teniendo dos marcadas temporadas; una es la temporada seca que se da de mayo a

noviembre y la temporada de lluvia de diciembre a abril. También tiene temperaturas promedio que rondan entre los 14.5°C y los 24°C, con una humedad relativa de aproximadamente 55% a 58%.

2.4. Materiales y equipos

2.4.1. Materiales

- ✓ Libreta de campo
- ✓ Lapicero
- ✓ Cámara fotográfica
- ✓ Manguera

2.4.2. Equipos

Equipos de gabinete

- ✓ Laptop
- ✓ Celular
- ✓ Impresora

Equipos de medición

- ✓ Anemómetro e Higrómetro digital
- ✓ Cronometro
- ✓ Cinta métrica de 5m
- ✓ Wincha de 50m
- ✓ Manómetro
- ✓ Probeta graduada
- ✓ Pluviómetros

2.5. Metodología

Dentro de la metodología se puede realizar el detalle de toda la forma de la investigación; las cuales serían:

- a. **Cálculo del CUC:** se aplicó la fórmula del Coeficiente de Uniformidad de Christiansen, considerando las láminas recolectadas en los pluviómetros distribuidos en campo.
- b. **Tipo de investigación:** esta investigación es aplicada, debido a que se encuentra orientada a solucionar un problema práctico la cual está relacionada con la eficiencia del riego por aspersión.
- c. **Nivel de investigación:** esta investigación es de nivel descriptivo – correlacional, debido a que realizamos la caracterización y comparación de la uniformidad del riego entre los cinco comités de riego en sus condiciones actuales de operación.
- d. **Diseño de la investigación:** esta investigación es de diseño no experimental – transversal, orientado a la evaluación del desempeño hidráulico de los sistemas de riego en sus condiciones reales de operación, sin manipulación de variables.
- e. **Población, muestra y técnica de muestreo:**
 - i. **Población:** La población que conforma la investigación son todos los sistemas de riego por aspersión que conforman los sistemas de riego por aspersión del Proyecto Cachi los cuales están ubicados en la provincia de Huamanga, región Ayacucho.
 - ii. **Muestra:** La muestra está conformada por los sistemas de riego que fueron seleccionados dentro de cada comité de riego (Casaorcco,

Manzanayocc, Santa Bárbara, Cusibamba y Acosvinchos), los cuales fueron objeto de la medición de la distribución de agua mediante los pluviómetros para poder realizar la determinación del Coeficiente de Uniformidad de Christiansen.

- iii. **Técnica de muestreo:** se realizó un muestreo no probabilístico por conveniencia, seleccionando los comités de riego en función de su operatividad, representatividad del ámbito del Proyecto Cachi y accesibilidad física durante el trabajo de campo.

f. **Técnicas de recolección de datos**

Para lograr realizar la adecuada recolección de datos se realizó dos tipos de técnicas; las cuales son:

- **Observación directa en campo:** mediante esta técnica, se realizó la observación directa del funcionamiento del sistema de riego por aspersión y el detalle de sus componentes.
- **Medición:** mediante esta técnica, se realizó la medición del caudal, presión y lamina recolectada; mediante el uso de instrumentos (cronometro, manómetro y pluviómetro) en campo.

- a. **Instalación de red de pluviómetros:** para realizar la instalación de los pluviómetros; debemos realizar la siguiente secuencia de acciones:

- i. Investigación el alcance teórico que tenga el aspersor visto en campo.
- ii. Determinar una distancia entre pluviómetros que sean considerable para la investigación (cuantos más

pluviómetros mayor cantidad de datos de influencia de riego).

- iii. Medir la altura de aspersor instalado y medir tiempo de duración de prueba.
- iv. Finalmente, se mide la presión de trabajo del aspersor puede ser por manómetro de aguja o digital (en nuestro caso se realizó la medición con manómetro de aguja). Y también se realiza la medición de la velocidad del viento en nuestro caso se midió mediante un anemómetro digital.

g. Variables de estudio:

Tabla 15.

Variables de análisis dentro de la investigación

Variable	Indicador	Definición	Unidad	Instrumento
Desempeño hidráulico del sistema de riego	CUC	Evalúa la uniformidad del agua aplicada mediante pluviómetros	%	Pluviómetros y probeta graduada
Desempeño hidráulico del sistema de riego	CD	Evalúa la eficiencia de distribución del agua	%	Pluviómetros
Desempeño hidráulico del sistema de riego	CVD	Evalúa la variabilidad de descarga entre aspersores	%	Manómetro y cronómetro

- h. Análisis de condiciones ambientales:** para poder determinar la velocidad del viento durante el desarrollo de la prueba (duró 02 horas) se realizó una medición cada 05 minutos; de esta manera se podría saber cuan variable

actuaria el viento en la zona de prueba. Para la realización de la medición se pasó a usar el instrumento llamado “Anemómetro digital” el cual mediante una peque hélice logra medir la velocidad del viento.

i. Técnicas de procesamiento de datos y análisis de información:

- **Procesamiento de datos:** Se utilizo Microsoft Excel para la tabulación, procesamiento estadístico (ANOVA), elaboración de gráficos de comportamiento de parámetros climáticos y elaboración de mapas de distribución de agua para comparar resultados entre comités.

- a. Revisión y validación de datos; lo cual nos lleva a corroborar la toma de datos mediante la memoria de lectura en el momento.
- b. Organización de la información; se realiza la transcripción de los datos de cuaderno a tablas, ya organizadas y bien detalladas.
- c. Tabulación; se realiza el ingreso de los datos en Excel.
- d. Cálculo del CUC; se aplicó la fórmula del Coeficiente de Uniformidad de Christiansen, considerando las láminas recolectadas en los pluviómetros distribuidos en campo:

$$CUC = \left(1 - \frac{\sum |X_i - \bar{X}|}{n * \bar{X}}\right) \times 100 \dots (1)$$

- e. Cálculo de parámetros complementarios
 - i. **Coeficiente de variación de descarga (CVD):** este coeficiente mide el nivel de caudal que maneja cada aspersor durante el riego.

$$CVD = \frac{\sigma}{\bar{X}} \times 100... (2)$$

- ii. **Coeficiente de Distribución (CD):** este coeficiente mide la situación hídrica del cuartil inferior (25%), es decir, los datos que menos volumen de agua obtuvieron.

$$CD = \frac{X_{25\%}}{\bar{X}} \times 100... (3)$$

- iii. **Índice de Desempeño del Sistema (IDS):** este coeficiente nos detalla el porcentaje de trabajo que efectivo realiza el sistema de forma global.

$$IDS = CUC \times CD... (4)$$

- f. **Ética y permisos:**

Durante el periodo de tiempo que se estuvo en campo, se tuvo el permiso adecuado de cada presidente de los comités de riego en las diferentes zonas, mediante ese permiso se pudo acceder a la información interna de los componentes de riego y el tiempo de llenado del embalse en cada sector.

2.6.Mediciones del alcance y distribución de aspersores: una vez en la parcela experimental, el procedimiento inicial consistió en registrar la altura de los aspersores, así como evaluar su patrón de distribución y el alcance teórico de diseño.

Tabla 16.*Relación de aspersores en campo.*

Lugar	Tipo de aspersor
Casaorcco	Senninger 7025 - 23°
Manzanayocc	Senninger 3023 – 2
Santa Bárbara	VYR - 66
Cusibamba	AKONA (KA-30)
Acosvinchos	NAANDANJAIN 5022 SD-U

Tabla 17.*Distanciamiento y altura de aspersores en campo*

Lugar	Altura de aspersor (m)	Distancia entre aspersores (m)
Casaorcco	1.40	31
Manzanayocc	1.10	18
Santa Bárbara	1.40	39
Cusibamba	1.00	18
Acosvinchos	1.00	18

2.7.Distribución de pluviómetros: posteriormente al levantamiento de dimensiones en campo, se realizó la disposición espacial de los pluviómetros con el fin de delimitar el área de influencia del emisor y garantizar la correcta ejecución del ensayo de Christiansen.

Tabla 18.*Distanciamiento de pluviómetros*

Lugar	Espaciamiento entre pluviómetros
Casaorcco	5 m x 5 m
Manzanayocc	3 m x 3 m
Santa Bárbara	4 m x 4 m
Cusibamba	4 m x 4 m
Acosvinchos	3 m x 3 m

2.8.Control de parámetros meteorológicos: durante la ejecución de las pruebas, se monitorearon las variables microclimáticas (temperatura, humedad relativa y velocidad del viento) mediante un anemómetro digital y sensores calibrados, estableciendo un registro sistemático con un intervalo de adquisición de 05 minutos.

2.9.Análisis de la prueba de Christiansen: una vez finalizado el tiempo de ensayo de dos horas, se procedió a la recolección individual de los pluviómetros. El volumen colectado se cuantificó mediante una probeta graduada y los registros fueron consignados sistemáticamente en la libreta de campo.

Tabla 19.*Horario de realización de pruebas en campo*

Lugar	Fecha de prueba realizada	Horario de prueba realizada
Casaorcco	13/08/25	11:45 a.m. – 13:45 p.m.
Manzanayocc	18/08/25	11:40 a.m. – 13:40 p.m.
Santa Bárbara	23/08/25	11:00 a.m. – 13:00 p.m.
Cusibamba	25/08/25	11:30 a.m. – 13:30 p.m.
Acosvinchos	28/08/25	09:30 a.m. – 11:30 a.m.

2.10. Ordenamiento de datos recolectados: concluida la fase de recolección, los datos de campo fueron tabulados y procesados en una hoja de cálculo electrónica los cuales son presentados en las Tablas 29, 30, 31, 32 y 33, para su respectivo análisis estadístico y de uniformidad. Y también se encuentran tabuladas los datos microclimáticos las cuales son presentadas en las Tablas 34, 35, 36, 37 y 38, todas estas tablas son presentadas en los ANEXOS B.

CAPÍTULO III

RESULTADOS

Objetivo A: Caracterización de los sistemas de riego por aspersión en los cinco comités.

- **Reconocimiento de campo**

Dentro del procedimiento de reconocimiento de campo en los distintos puntos experimentales, se realizó un recorrido por cada comité de riego para ubicar sus componentes hidráulicos, comenzando por los reservorios y sus fuentes de alimentación. Por ello, se procedió a ubicar a cada persona responsable de cada sistema de riego para coordinar y obtener el permiso para realizar el procedimiento experimental en los campos de cultivo.

También se realizó la medición geométrica o dimensional de cada reservorio responsable de la alimentación continua de los sistemas de riego por aspersión.

- **Caracterización de los componentes en cada uno de los sistemas de riego por aspersión**

Luego de la identificación de las parcelas en campo se pasó a realizar la observación de los componentes del sistema de riego. Para su posterior caracterización:

- ♠ **Sistema de riego en Casaorcco:**

El presente sistema de riego que fue ubicado en la comunidad de Casaorcco, fue un proyecto que mediante el nombre “Implementación de sistema de riego tecnificado por aspersión en la comunidad de Casaorcco” se realizado ya hace un poco más de 08 años bajo la tutela del PSI (Programa Subsectorial de

Irrigaciones), con la finalidad de apoyar la capacidad productiva de esta comunidad y generar mejor bienestar en la calidad de vida de los pobladores de esta comunidad.

- **Reservorio:** dentro de la comunidad de Casaorcco, se pudo visualizar la existencia de 02 reservorios de distintas medidas que logran abastecer hídricamente a todos los sistemas de riego existentes en Casaorcco. Pero solo se realizó la medición geométrica del reservorio que alimenta al sistema de riego donde posteriormente se realizó la prueba de Christiansen; el cual posee las siguientes características:

Tabla 20.

Dimensiones geométricas del reservorio en Casaorcco

Estructura	Largo (m)	Ancho (m)	Altura (m)	Capacidad hidráulica (m³)	Material
Reservorio - 01	40	30	4	4500	Reservorio de tierra c/n geomembrana HDPE

- **Canal de alimentación:** para poder tener el reservorio lleno se opta por realizar la alimentación derivada del mismo canal del Proyecto Cachi el cual mediante una toma lateral por medio de una tubería de 12” y una longitud de 76.49 m. lo cual llena diariamente el reservorio con un caudal de 150 lt/seg el cual es un caudal que es entregado 14 horas todos los días, lo cual es un caudal de abastecimiento continuo que luego pasa a ser derivado en los 04 sectores (03 de riego por aspersión y 01 de riego por gravedad) correspondientes de la zona. El total de hectáreas abastecidas son de 190 Has de cultivo, de los cuales los principales cultivos son: papa, arveja y quinua que pertenecen a los diferentes

agricultores que forman parte de este comité de riego en San Cristóbal de Casaorcco.

- **Cámara de válvula sectorial:** para poder controlar el paso del agua a los sectores determinados, es necesario contar con una válvula que ayude a dicha finalidad. En los sistemas de riego se encontraron una cantidad de válvulas proporcionales a la cantidad de sectores divididos que se hallan en campo. Dentro de este sistema de riego en Casaorcco se halló la ubicación de 03 válvulas sectoriales de las cuales se encuentran válvulas hidráulicas y válvulas de tipo compuerta. Para la zona donde se realizó nuestra prueba de Christiansen se ubicó una “válvula sectorial de tipo compuerta” esta se viene ramificando de una matriz que posee un diámetro de 200 mm y una longitud de 166.13 m.
- **Válvulas parcelarias:** para optimizar el control del flujo de agua, se identificó la instalación de válvulas individuales en cada aspersor, lo que permite una regulación precisa de su funcionamiento. Asimismo, se constató la presencia de válvulas parcelarias tipo bola, cuyo diámetro varía según la superficie a irrigar, abarcando dimensiones de 02" – 04". Estas dimensiones se reducen en los elevadores, alcanzando diámetros de 1 ½" – ¾ ". Los aspersores empleados corresponden al modelo Senninger 7025 – 23°, con un caudal de 4680 lt/hr (0.0013 m³/seg) y una presión de operación de 4.2 bar.

- **Sistema de riego en Manzanayocc**

El presente sistema de riego que fue ubicado en la comunidad de Manzanayocc, fue un proyecto que mediante el nombre “Instalación del servicio de agua para el sistema de riego por aspersión en la comunidad de Santa Cruz de Manzanayocc” se ha realizado hace un poco más de 08 años bajo la tutela del PRIDER (Programa Regional de Irrigación y Desarrollo Rural Integrado), con la finalidad de apoyar la capacidad productiva de esta comunidad y generar mejor bienestar en la calidad de vida de los pobladores de esta comunidad.

- **Reservorio:** dentro de la comunidad de Manzanayocc, se pudo visualizar la existencia de 04 reservorios de distintas medidas que logran abastecer hídricamente a todos los sistemas de riego existentes en Manzanayocc. Pero solo se realizó la medición geométrica del reservorio que alimenta al sistema de riego donde se desarrolló la prueba de Christiansen, el cual posee las siguientes medidas:

Tabla 21.

Dimensiones geométricas del reservorio en Manzanayocc

Estructura	Largo (m)	Ancho (m)	Altura (m)	Capacidad hidráulica (m ³)	Material
Reservorio - 01	30	20	4	2000	Reservorio de tierra c/n geomembrana HDPE

- **Canal de alimentación:** para poder mantener el reservorio lleno, se opta por realizar la alimentación derivada del mismo canal del Proyecto Cachi, el cual, mediante una toma lateral, llena diariamente el reservorio con un caudal de 90 lt/seg lo cual es un caudal de abastecimiento continuo que luego pasa a ser derivado en los 04

sectores correspondientes de la zona. El total de hectáreas abastecidas es de 160 ha de cultivo, de las cuales los principales cultivos son: papa, haba, pasto asociado y avena que pertenecen a los diferentes agricultores que forman parte de este comité de riego en Manzanayocc.

- **Cámara de válvula sectorial:** para poder controlar el paso del agua a los sectores determinados, es necesario contar con una válvula que ayude a dicha finalidad. En los sistemas de riego se encontraron una cantidad de válvulas proporcionales a la cantidad de sectores divididos que se hallan en campo. Dentro de este sistema de riego en Manzanayocc se halló la ubicación de 03 válvulas sectoriales las cuales todas son válvulas hidráulicas. Para la zona donde se realizó nuestra prueba de Christiansen se ubicó una “válvula sectorial de tipo hidráulica” esta se viene ramificando de una matriz que posee un diámetro de 200 mm.
- **Válvulas parcelarias:** para optimizar el control del flujo de agua, se identificó la instalación de válvulas individuales en cada aspersor, lo que permite una regulación precisa de su funcionamiento. Asimismo, se constató la presencia de válvulas parcelarias tipo bola, cuyo diámetro varía según la superficie a irrigar, abarcando dimensiones de 02" – 04". Estas dimensiones se reducen en los elevadores, alcanzando diámetros de 1 ½" – ¾ ". Los aspersores empleados corresponden al modelo Senninger 3023 – 2, con un caudal de 1253 lt/hr (0.00035 m³/seg) y una presión de operación de 2.6 bar.

- Sistema de riego en Santa Bárbara

El sistema de riego de la comunidad de Santa Bárbara corresponde al proyecto denominado “Instalación del sistema de riego por aspersión Los Tres Valles de Tambillo”. Las instalaciones de riego por aspersión fueron implementadas hace poco más de tres años bajo la supervisión del Programa Subsectorial de Irrigaciones (PSI). Adicionalmente, el sistema cuenta con un reservorio instalado en 2009 por el Programa Regional de Irrigación y Desarrollo Rural Integrado (PRIDER). Ambos componentes tienen como objetivo incrementar la capacidad productiva agrícola y contribuir al mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes de la comunidad.

- **Reservorio:** dentro de la comunidad de Santa Bárbara, se pudo visualizar la existencia de 03 reservorios de distintas medidas que logran abastecer hídricamente a todos los sistemas de riego existentes en Santa Bárbara y otras comunidades. Pero la que alimenta al sistema de riego donde se realizó la prueba de Christiansen tiene las siguientes medidas:

Tabla 22.

Dimensiones geométricas del reservorio en Santa Bárbara

Estructura	Largo (m)	Ancho (m)	Altura (m)	Capacidad hidráulica (m ³)	Material
Reservorio - 01	40	30	4	3200	Reservorio de tierra c/n geomembrana HDPE

- **Canal de alimentación:** para poder tener el reservorio lleno, se opta por realizar la alimentación derivada del mismo canal del Proyecto

Cachi, el cual, mediante una toma lateral, llena diariamente el reservorio con un caudal de 193 lt/seg, lo cual es un caudal de abastecimiento continuo que luego pasa a ser derivado a las parcelas correspondientes de la zona. El total de hectáreas abastecidas son la cantidad de 110 ha, de las cuales los principales cultivos son: papa, quinua, haba, avena forrajera y alfalfa, que pertenecen a los diferentes agricultores que forman parte de este comité de riego en Santa Bárbara.

- **Cámara de válvula sectorial:** para controlar el paso del agua hacia los sectores específicos, es necesario contar con una válvula adecuada. En los sistemas de riego se encontró un número de válvulas proporcional al de sectores en los que se divide el campo. Dentro de este sistema de riego en Santa Bárbara se halló la ubicación de 03 válvulas sectoriales, de las cuales se encuentran válvulas hidráulicas y válvulas de tipo mariposa. En la zona donde se realizó nuestra prueba de Christiansen, se instaló una “válvula sectorial de tipo mariposa”. Esta se ramifica desde una matriz de 200 mm y luego se reduce a 160 mm y 110 mm.
- **Válvulas parcelarias:** para tener el control eficiente del flujo de agua se realiza la instalación de válvulas parcelarias tipo bola, cuyo diámetro varía en función de la superficie a irrigar, con diámetros que oscilan entre 2” y 4”. En los elevadores, estos diámetros se reducen a rangos de 1 ½" – ¾ ". El sistema emplea aspersores modelo VYR 66, que operan con un caudal de 2520 lt/hr (0.0007 m³/seg) y una presión de trabajo de 3.2 bar.

- Sistema de riego en Cusibamba

El sistema de riego de la comunidad de Cusibamba corresponde al proyecto denominado “Instalación del sistema de riego por aspersión para el Grupo de Gestión Empresarial Cusibamba”. Esta infraestructura fue implementada hace poco más de dos años bajo la supervisión del Programa Subsectorial de Irrigaciones (PSI), con el objetivo de incrementar la capacidad productiva agrícola y contribuir al mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes de la comunidad.

- **Reservorio:** dentro de la comunidad de Cusibamba, se pudo visualizar la existencia de 01 reservorio y 01 pozo de distintas medidas que logran abastecer hídricamente a la franja derecha e izquierda de los sistemas de riego existentes en Cusibamba. Pero la que alimenta al sistema de riego donde se realizó la prueba de Christiansen tiene las siguientes medidas:

Tabla 23.

Dimensiones geométricas del reservorio en Cusibamba (margen derecho)

Estructura	Largo (m)	Ancho (m)	Altura (m)	Capacidad hidráulica (m ³)	Material
Reservorio	40	34	4	5000	Reservorio de tierra c/n Geomembrana HDPE

Tabla 24.

Dimensiones geométricas del reservorio en Cusibamba (margen izquierdo)

Estructura	Largo (m)	Ancho (m)	Altura (m)	Capacidad hidráulica (m ³)	Material
Pozo	4	4	4	64	Reservorio enterrado de concreto armado

- **Canal de alimentación:** para poder tener los reservorios llenos, se opta por realizar la alimentación derivada del mismo canal del Proyecto Cachi, el cual, mediante una toma lateral, llena diariamente el reservorio con un caudal de 106 lt/seg, lo cual es una caudal de abastecimiento en el periodo de tiempo desde las 6:00 a.m. hasta las 6:00 p.m. (12 horas), que luego son derivadas a las parcelas correspondientes de cada zona. El total de hectáreas abastecidas asciende a poco más de 130 ha, entre los cuales los principales cultivos son: trigo, papa, quinua y pasto asociado, los cuales son pertenecientes a los diferentes agricultores que integran este comité de riego en Cusibamba.
- **Cámara de válvula sectorial:** para poder controlar el paso del agua a los sectores determinados es necesario contar con una válvula que ayude a dicha finalidad. En los sistemas de riego se encontraron una cantidad de válvulas proporcionales a la cantidad de sectores divididos que se hallan en campo. Dentro de este sistema de riego en Cusibamba se halló la ubicación de 04 válvulas sectoriales de las cuales se encuentran válvulas hidráulicas y válvulas de tipo compuerta y, por otro lado, en el reservorio enterrado se ubicaron válvulas de tipo mariposa que habilitan la irrigación de la franja izquierda con una matriz de 350 mm. Pero para la zona donde se realizó nuestra prueba de Christiansen se ubicó una “válvula sectorial de tipo hidraulica” esta se viene ramificando de una matriz que posee un diámetro de 200 mm y luego se reduce a los diámetros de 160 mm y 110 mm.

- **Válvulas parcelarias:** para tener un control eficiente del flujo de agua se logra mediante la instalación de válvulas parcelarias tipo bola, cuyo diámetro varía en función de la superficie a irrigar, con dimensiones que oscilan entre 02" – 04". En los elevadores, estos diámetros se reducen a rangos de 1 ½" – ¾ ". El sistema utiliza aspersores modelo AKONA (KA-30), que operan con un caudal de 2160 lt/hr (0.0006 m³/seg) y una presión de trabajo de 3.0 bar.

- **Sistema de riego en Acosvinchos**

El presente sistema de riego, ubicado en la comunidad de Acosvinchos, corresponde al proyecto denominado “Mejoramiento del servicio de agua del sistema de riego tecnificado en los sectores de Lorenzayocc y Hanansayocc del distrito de Acosvinchos”. Dicha obra fue ejecutada hace aproximadamente 12 años bajo la titularidad de la Municipalidad Distrital de Acosvinchos, con el cofinanciamiento y apoyo de la Municipalidad Provincial de Huamanga. Su intervención tuvo como objetivo principal optimizar la capacidad productiva agrícola de la zona y elevar las condiciones de bienestar y calidad de vida de sus pobladores.

- **Reservorio:** dentro de la comunidad de Acosvinchos, se pudo visualizar la existencia de 01 reservorio que logran abastecer hídricamente a los sistemas de riego existentes en Acosvinchos. La que alimenta al sistema de riego donde se realizó la prueba de Christiansen tiene las siguientes medidas:

Tabla 25.*Dimensiones geométricas de reservorio en Acosvinchos*

Estructura	Largo (m)	Ancho (m)	Altura (m)	Capacidad hidráulica (m ³)	Material
Reservorio	21	13	4	1000	Reservorio de concreto armado

- **Tubería de alimentación:** el llenado del reservorio se efectúa mediante una derivación de los riachuelos Collpa y Ccaje. Este sistema permite una alimentación diaria con un caudal de 30 lt/seg durante un periodo de 12 horas (de 18:00 a 06:00 horas). Posteriormente, el volumen almacenado es distribuido a los sectores de Hanansayocc y Lorenzayocc. Actualmente, la infraestructura garantiza el abastecimiento hídrico para unas superficies agrícolas y no agrícolas de 15 hectáreas cuyos cultivos principales son: maíz, trigo, papa y cebada, beneficiando a los agricultores integrantes del comité de riego de Acosvinchos.
- **Desarenador:** el sistema cuenta con dos estructuras de desarenado y limpiezas destinadas a purgar el agua conducida, previniendo la acumulación de sedimentos y posibles obstrucciones en la red de conducción. Dado que la infraestructura de riego por aspersión está compuesta mayoritariamente por tuberías enterradas y expuestas, la presencia de partículas sólidas representa un riesgo operativo crítico, propiciando fallas estructurales, reducción de la vida útil y eventuales roturas en las líneas de conducción.

- **Cámara de válvula sectorial:** para la regulación y el control del recurso hídrico hacia las unidades de riego, el sistema dispone de válvulas sectoriales en una cantidad proporcional a los sectores delimitados en campo. Específicamente, en el sistema de Acosvinchos se identificaron dos válvulas sectoriales de accionamiento hidráulico. En la zona donde se ejecutó la evaluación del coeficiente de uniformidad de Christiansen, se emplazó una válvula sectorial hidráulica derivada de una tubería matriz de 2" de diámetro, la cual conduce un caudal de 30 lt/seg.
- **Hidrantes parcelarios:** con el propósito de lograr un control más eficiente en la distribución del recurso hídrico, se constató la instalación de hidrantes parcelarios. La red de distribución presenta una reducción telescópica en sus diámetros nominales, partiendo desde los 2" hasta diámetros de 1" y 1.5". Específicamente, en el punto de evaluación realizado situado en el lindero exterior de la parcela, el hidrante abastece a un subsector de riego compuesto por múltiples emisores. Estos se encuentran configurados con un diámetro de conexión de 3/4" y operan con aspersores modelo NAANDANJAIN 5022, los cuales registran un caudal nominal de 2088 lt/hr ($0.00058 \text{ m}^3/\text{seg}$) a una presión de trabajo de 1.8 bar.

Objetivo B: Aplicar la metodología experimental del método de Christiansen

- **Experimentación en la comunidad de Casaorcco**

Procesamiento de valores en pluviómetros recolectados:

A continuación, se procedió al tratamiento analítico de los datos de campo para determinar el coeficiente de uniformidad de Christiansen y obtener los resultados definitivos del ensayo.

- **Casaorcco:**

- **Prueba de Christiansen:** a continuación, se determinó el coeficiente de uniformidad de Christiansen a partir de los registros obtenidos en la localidad de Casaorcco. Metodológicamente, se calculó de forma inicial la media aritmética de las lecturas pluviométricas y su respectiva varianza estadística respecto al promedio.

Para la realización de este cálculo se usó la formula (1). Ecuación para hallar el Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (CUC):

$$CUC = \left(1 - \frac{\sum |X_i - \bar{X}|}{n * \bar{X}} \right) \times 100 \dots \dots (1)$$

$\bar{X}$: promedio de las lecturas

X_i : valor de lectura i

n : número de lecturas

$$n = 144$$

$$\bar{X} = 108.93$$

$$\sum |X_i - \bar{X}| = 3,645.81$$

$$n \times \bar{X} = 15,685.92$$

$$CUC = \left(1 - \frac{\sum |X_i - \bar{X}|}{n * \bar{X}}\right) \times 100$$

$$CUC = \left(1 - \frac{3,645.81}{15,685.92}\right) \times 100$$

$$CUC = (1 - 0.23) \times 100$$

$$CUC = 100 \times 0.77 = \mathbf{77\%}$$

Tabla 26.

Análisis de los valores de pluviómetros recolectados en Casaorcco.

N° de pluviómetro	Cantidad de agua (ml) X_i	Varianza	
		$[X_i - \bar{X}]$	$[X_i - \bar{X}]^2$
1	70.00	38.81	1505.87
2	72.00	36.81	1354.65
3	90.00	18.81	353.65
4	110.00	1.19	1.43
5	120.00	11.19	125.32
6	110.00	1.19	1.43
7	90.00	18.81	353.65
8	70.00	38.81	1505.87
9	80.00	28.81	829.76
10	120.00	11.19	125.32
11	121.00	12.19	148.70
12	140.00	31.19	973.09
13	135.00	26.19	686.15
14	130.00	21.19	449.20
15	125.00	16.19	262.26
16	121.00	12.19	148.70
17	60.00	48.81	2381.98
18	110.00	1.19	1.43
19	110.00	1.19	1.43
20	140.00	31.19	973.09
21	130.00	21.19	449.20
22	125.00	16.19	262.26
23	120.00	11.19	125.32
24	70.00	38.81	1505.87
25	97.00	11.81	139.37
26	112.00	3.19	10.20
27	115.00	6.19	38.37
28	135.00	26.19	686.15
29	145.00	36.19	1310.04
30	140.00	31.19	973.09
31	130.00	21.19	449.20
32	115.00	6.19	38.37
33	97.00	11.81	139.37
34	102.00	6.81	46.32
35	122.00	13.19	174.09
36	125.00	16.19	262.26
37	130.00	21.19	449.20
38	125.00	16.19	262.26
39	110.00	1.19	1.43
40	90.00	18.81	353.65
41	90.00	18.81	353.65
42	90.00	18.81	353.65
43	102.00	6.81	46.32
44	115.00	6.19	38.37
45	130.00	21.19	449.20
46	120.00	11.19	125.32
47	115.00	6.19	38.37
48	85.00	23.81	566.70
49	70.00	38.81	1505.87
50	72.00	36.81	1354.65
51	90.00	18.81	353.65
52	100.00	8.81	77.54
53	130.00	21.19	449.20
54	110.00	1.19	1.43
55	110.00	1.19	1.43
56	80.00	28.81	829.76
57	48.00	60.81	3697.32
58	121.00	12.19	148.70
59	135.00	26.19	686.15
60	155.00	46.19	2133.93
61	145.00	36.19	1310.04
62	140.00	31.19	973.09
63	135.00	26.19	686.15
64	122.00	13.19	174.09
65	25.00	83.81	7023.37
66	130.00	21.19	449.20
67	140.00	31.19	973.09
68	150.00	41.19	1696.98
69	155.00	46.19	2133.93
70	145.00	36.19	1310.04
71	140.00	31.19	973.09
72	130.00	21.19	449.20
73	55.00	53.81	2895.04
74	125.00	16.19	262.26
75	140.00	31.19	973.09
76	145.00	36.19	1310.04
77	120.00	11.19	125.32
78	112.00	3.19	10.20
79	95.00	13.81	190.59
80	65.00	43.81	1918.93
81	50.00	58.81	3458.09
82	90.00	18.81	353.65
83	125.00	16.19	262.26
84	145.00	36.19	1310.04
85	122.00	13.19	174.09
86	100.00	8.81	77.54
87	97.00	11.81	139.37
88	80.00	28.81	829.76
89	50.00	58.81	3458.09
90	80.00	28.81	829.76
91	122.00	13.19	174.09
92	150.00	41.19	1696.98
93	105.00	3.81	14.48
94	90.00	18.81	353.65
95	72.00	36.81	1354.65
96	50.00	58.81	3458.09
97	75.00	33.81	1142.82
98	125.00	16.19	262.26
99	135.00	26.19	686.15
100	150.00	41.19	1696.98
101	122.00	13.19	174.09
102	100.00	8.81	77.54
103	95.00	13.81	190.59
104	70.00	38.81	1505.87
105	80.00	28.81	829.76
106	110.00	1.19	1.43
107	125.00	16.19	262.26
108	150.00	41.19	1696.98
109	140.00	31.19	973.09
110	115.00	6.19	38.37
111	90.00	18.81	353.65
112	55.00	53.81	2895.04
113	85.00	23.81	566.70
114	95.00	13.81	190.59
115	95.00	13.81	190.59
116	125.00	16.19	262.26
117	145.00	36.19	1310.04
118	125.00	16.19	262.26
119	120.00	11.19	125.32
120	75.00	33.81	1142.82
121	80.00	28.81	829.76
122	85.00	23.81	566.70
123	125.00	16.19	262.26
124	125.00	16.19	262.26
125	165.00	56.19	3157.82
126	150.00	41.19	1696.98
127	100.00	8.81	77.54
128	35.00	73.81	5447.26
129	70.00	38.81	1505.87
130	82.00	26.81	718.54
131	120.00	11.19	125.32
132	145.00	36.19	1310.04
133	170.00	61.19	3744.76
134	160.00	51.19	2620.87
135	100.00	8.81	77.54
136	70.00	38.81	1505.87
137	50.00	58.81	3458.09
138	70.00	38.81	1505.87
139	125.00	16.19	262.26
140	150.00	41.19	1696.98
141	150.00	41.19	1696.98
142	140.00	31.19	973.09
143	80.00	28.81	829.76
144	50.00	58.81	3458.09
PROMEDIO (X)	108.81	3644.67	131480.56
		SUMATORIA	SUMATORIA

Continuaremos con el cálculo de los demás indicadores de eficiencia del riego:

1. **Coeficiente de Variación de Descarga de Casaorcco:** A continuación, se procedió al cálculo del coeficiente de variación de descarga de los emisores, empleando los registros experimentales obtenidos en la localidad de Casaorcco.

Para el cálculo de este coeficiente se usó la fórmula 2. Ecuación para hallar el coeficiente de variación de descarga (CVD):

$$CVD = \frac{\sigma}{\bar{X}} \times 100 \dots\dots (2)$$

$\bar{X}$: promedio de las lecturas

σ : des. est. lecturas de lámina de riego

$$n = 144$$

$$\bar{X} = 108.93$$

$$\sum |X_i - \bar{X}|^2 = 131,557.31$$

$$Varianza = \frac{\sum |X_i - \bar{X}|^2}{n} = \frac{131,557.31}{144} = 913.59$$

Desviación Estándar:

$$\sigma = \sqrt{Varianza} \rightarrow \sigma = \sqrt{913.59} = 30.23$$

Coeficiente de variación de descarga:

$$CVD = \frac{\sigma}{\bar{X}} \times 100 \rightarrow CVD = \frac{30.23}{108.93} \times 100 = 27.75\%$$

- 2. Coeficiente de Distribución de Casaorcco:** seguidamente, se determinó el coeficiente de distribución a partir de los datos experimentales de Casaorcco (consignados en el ANEXO B). Metodológicamente, este parámetro se estimó calculando el promedio aritmético del 25% de los valores mínimos registrados.

Para el cálculo de este coeficiente se usó la fórmula 3. Ecuación para hallar el coeficiente de distribución (CD):

$$CD = \frac{X_{25\%}}{\bar{X}} \times 100 \dots\dots (3)$$

$\bar{X}$: promedio de las lecturas

$X_{25\%}$: prom. De 25% de men. Lecturas de láminas de riego

$$n = 144$$

$$25\% n = 36 \text{ datos}$$

$$CD = \frac{X_{25\%}}{\bar{X}} \times 100 \rightarrow CD = \frac{67.11}{108.93} \times 100 = \mathbf{61.61\%}$$

- 3. Índice de Desempeño del Sistema:** a partir de los parámetros calculados previamente, se procedió a estimar este indicador para evaluar el desempeño hidráulico del sistema, lo cual permite verificar la operatividad y eficiencia de sus componentes.

Para el cálculo de este indicador se usó la fórmula 4. Ecuación para hallar el índice de desempeño del sistema (IDS):

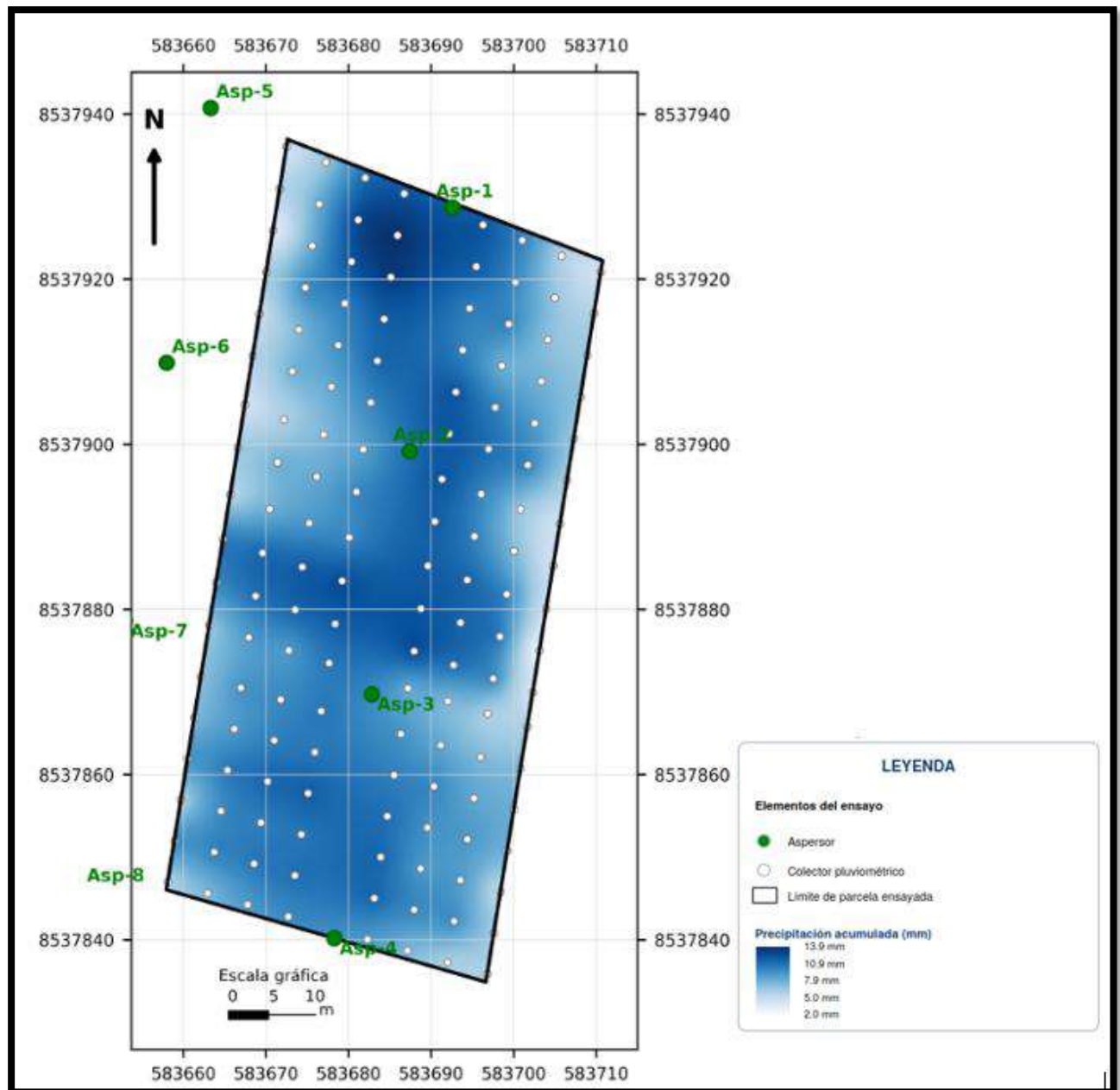
$$IDS = CUC \times CD \dots\dots (4)$$

$$IDS = 0.77 \times 0.62$$

$$IDS = \mathbf{47.74\%}$$

Figura 12.

Mapa de distribución de la precipitación mediante isoyetas en el área de Casaorcco.



Visualizando la imagen anterior podemos entender las zonas más húmedas de las zonas menos húmedas entendiendo de manera gráfica la uniformidad.

- **Manzanayocc:**

- **Prueba de Christiansen:** a continuación, se determinó el coeficiente de uniformidad de Christiansen a partir de los registros obtenidos en la localidad de Manzanayocc. Metodológicamente, se calculó de forma inicial la media aritmética de las lecturas pluviométricas y su respectiva varianza estadística respecto al promedio.

Para la realización de este cálculo se usó la formula (1). Ecuación para hallar el Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (CUC):

$$CUC = \left(1 - \frac{\sum |X_i - \bar{X}|}{n * \bar{X}} \right) \times 100 \dots \dots (1)$$

$\bar{X}$: promedio de las lecturas

X_i : valor de lectura i

n: número de lecturas

$$n = 156$$

$$\bar{X} = 111.03$$

$$\sum |X_i - \bar{X}| = 3,192.10$$

$$n \times \bar{X} = 17,320.68$$

$$CUC = \left(1 - \frac{\sum |X_i - \bar{X}|}{n * \bar{X}} \right) \times 100$$

$$CUC = \left(1 - \frac{3,192.10}{17,320.68} \right) \times 100$$

$$CUC = (1 - 0.18) \times 100$$

$$CUC = 100 \times 0.82 = \mathbf{82\%}$$

Tabla 27.

Análisis de los valores de pluviómetros recolectados en Manzanayocc.

N° de pluviómetro	Cantidad de agua (ml)	Varianza	
		[Xi - X]	[Xi - X]^2
1	55.00	56.03	3138.87
2	88.00	23.03	530.18
3	88.00	23.03	530.18
4	100.00	11.03	121.56
5	103.00	8.03	64.41
6	108.00	3.03	9.15
7	140.00	28.97	839.51
8	123.00	11.97	143.39
9	117.00	5.97	35.69
10	102.00	9.03	81.46
11	85.00	26.03	677.33
12	55.00	56.03	3138.87
13	85.00	26.03	677.33
14	90.00	21.03	442.08
15	90.00	21.03	442.08
16	100.00	11.03	121.56
17	110.00	1.03	1.05
18	120.00	8.97	80.54
19	126.00	14.97	224.23
20	118.00	6.97	48.64
21	140.00	28.97	839.51
22	100.00	11.03	121.56
23	95.00	16.03	256.82
24	88.00	23.03	530.18
25	55.00	56.03	3138.87
26	95.00	16.03	256.82
27	105.00	6.03	36.31
28	120.00	8.97	80.54
29	135.00	23.97	574.77
30	140.00	28.97	839.51
31	155.00	43.97	1933.74
32	140.00	28.97	839.51
33	122.00	10.97	120.44
34	110.00	1.03	1.05
35	93.00	18.03	324.92
36	35.00	76.03	5779.90
37	100.00	11.03	121.56
38	105.00	6.03	36.31
39	110.00	1.03	1.05
40	115.00	3.97	15.80
41	140.00	28.97	839.51
42	175.00	63.97	4092.72
43	153.00	41.97	1761.85
44	135.00	23.97	574.77
45	115.00	3.97	15.80
46	110.00	1.03	1.05
47	95.00	16.03	256.82
48	90.00	21.03	442.08
49	80.00	31.03	962.59
50	100.00	11.03	121.56
51	120.00	8.97	80.54
52	130.00	18.97	360.03
53	155.00	43.97	1933.74
54	165.00	53.97	2913.23
55	150.00	38.97	1519.00
56	138.00	26.97	727.62
57	105.00	6.03	36.31
58	105.00	6.03	36.31
59	85.00	26.03	677.33
60	70.00	41.03	1683.10
61	55.00	56.03	3138.87
62	95.00	16.03	256.82
63	100.00	11.03	121.56
64	115.00	3.97	15.80
65	135.00	23.97	574.77
66	135.00	23.97	574.77
67	170.00	58.97	3477.98
68	140.00	28.97	839.51
69	125.00	13.97	195.28
70	115.00	3.97	15.80
71	103.00	8.03	64.41
72	93.00	18.03	324.92
73	35.00	76.03	5779.90
74	55.00	56.03	3138.87
75	75.00	36.03	1297.85
76	80.00	31.03	962.59
77	105.00	6.03	36.31
78	115.00	3.97	15.80
79	151.00	39.97	1597.95
80	138.00	26.97	727.62
81	125.00	13.97	195.28
82	115.00	3.97	15.80
83	108.00	3.03	9.15
84	96.00	15.03	225.77
85	45.00	66.03	4359.39
86	60.00	51.03	2603.62
87	80.00	31.03	962.59
88	100.00	11.03	121.56
89	120.00	8.97	80.54
90	135.00	23.97	574.77
91	149.00	37.97	1442.05
92	148.00	36.97	1367.10
93	135.00	23.97	574.77
94	110.00	1.03	1.05
95	105.00	6.03	36.31
96	80.00	31.03	962.59
97	80.00	31.03	962.59
98	90.00	21.03	442.08
99	100.00	11.03	121.56
100	100.00	11.03	121.56
101	110.00	1.03	1.05
102	135.00	23.97	574.77
103	160.00	48.97	2398.49
104	140.00	28.97	839.51
105	125.00	13.97	195.28
106	114.00	2.97	8.85
107	110.00	1.03	1.05
108	95.00	16.03	256.82
109	95.00	16.03	256.82
110	110.00	1.03	1.05
111	125.00	13.97	195.28
112	130.00	18.97	360.03
113	135.00	23.97	574.77
114	145.00	33.97	1154.26
115	175.00	63.97	4092.72
116	130.00	18.97	360.03
117	120.00	8.97	80.54
118	114.00	2.97	8.85
119	100.00	11.03	121.56
120	90.00	21.03	442.08
121	85.00	26.03	677.33
122	120.00	8.97	80.54
123	125.00	13.97	195.28
124	125.00	13.97	195.28
125	135.00	23.97	574.77
126	140.00	28.97	839.51
127	145.00	33.97	1154.26
128	125.00	13.97	195.28
129	115.00	3.97	15.80
130	103.00	8.03	64.41
131	100.00	11.03	121.56
132	96.00	15.03	225.77
133	95.00	16.03	256.82
134	100.00	11.03	121.56
135	115.00	3.97	15.80
136	115.00	3.97	15.80
137	120.00	8.97	80.54
138	120.00	8.97	80.54
139	148.00	36.97	1367.10
140	133.00	21.97	482.87
141	125.00	13.97	195.28
142	118.00	6.97	48.64
143	105.00	6.03	36.31
144	97.00	14.03	196.72
145	75.00	36.03	1297.85
146	85.00	26.03	677.33
147	95.00	16.03	256.82
148	100.00	11.03	121.56
149	110.00	1.03	1.05
150	115.00	3.97	15.80
151	138.00	26.97	727.62
152	124.00	12.97	168.33
153	120.00	8.97	80.54
154	112.00	0.97	0.95
155	100.00	11.03	121.56
156	90.00	21.03	442.08
PROMEDIO	111.03	3192.10	107643.90
		SUMATORIA	SUMATORIA

Ahora se realizará el cálculo de los demás indicadores de eficiencia del riego:

1. **Coeficiente de variación de descarga de Manzanayocc:** A continuación, se procedió al cálculo del coeficiente de variación de descarga de los emisores, empleando los registros experimentales obtenidos en la localidad de Manzanayocc.

Para el cálculo de este coeficiente se usó la fórmula 2. Ecuación para hallar el coeficiente de variación de descarga (CVD):

$$CVD = \frac{\sigma}{\bar{X}} \times 100 \dots\dots (2)$$

$\bar{X}$: promedio de las lecturas

σ : des. est. lecturas de lámina de riego

$$n = 156$$

$$\bar{X} = 111.03$$

$$\sum |X_i - \bar{X}|^2 = 107,643.90$$

$$Varianza = \frac{\sum |X_i - \bar{X}|^2}{n} = \frac{107,643.90}{156} = 690.03$$

Desviación Estándar:

$$\sigma = \sqrt{Varianza} \rightarrow \sigma = \sqrt{690.03} = 26.27$$

Coeficiente de variación de descarga:

$$CVD = \frac{\sigma}{\bar{X}} \times 100 \rightarrow CVD = \frac{26.27}{111.03} \times 100 = \mathbf{23.66\%}$$

2. **Coeficiente de Distribución de Manzanayocc:** seguidamente, se determinó el coeficiente de distribución a partir de los datos experimentales de Manzanayocc (consignados en el ANEXO B). Metodológicamente, este parámetro se estimó calculando el promedio aritmético del 25% de los valores mínimos registrados.

Para el cálculo de este coeficiente se usó la fórmula 3. Ecuación para hallar el coeficiente de distribución (CD):

$$CD = \frac{X_{25\%}}{\bar{X}} \times 100 \dots\dots (3)$$

$\bar{X}$: promedio de las lecturas

$X_{25\%}$: prom. De 25% de men. Lecturas de láminas de riego

$$n = 156$$

$$25\% n = 39 \text{ datos}$$

$$CD = \frac{X_{25\%}}{\bar{X}} \times 100 \rightarrow CD = \frac{78.33}{111.03} \times 100 = \mathbf{70.55\%}$$

3. **Índice de Desempeño del Sistema:** a partir de los parámetros calculados previamente, se procedió a estimar este indicador para evaluar el desempeño hidráulico del sistema, lo cual permite verificar la operatividad y eficiencia de sus componentes.

Para el cálculo de este indicador se usó la fórmula 4. Ecuación para hallar el índice de desempeño del sistema (IDS):

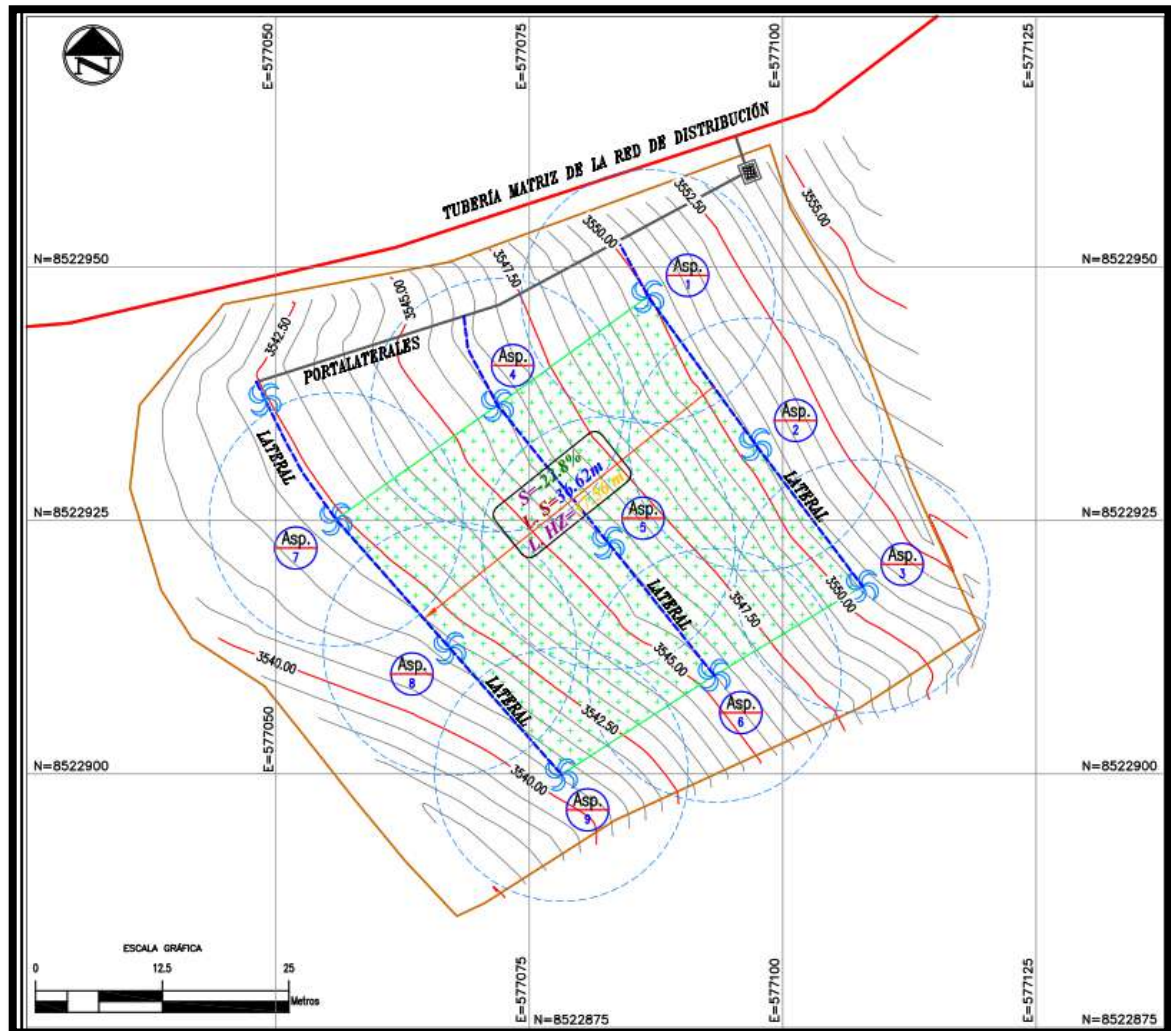
$$IDS = CUC \times CD \dots\dots (4)$$

$$IDS = 0.82 \times 0.71$$

$$IDS = \mathbf{58.22\%}$$

Figura 13.

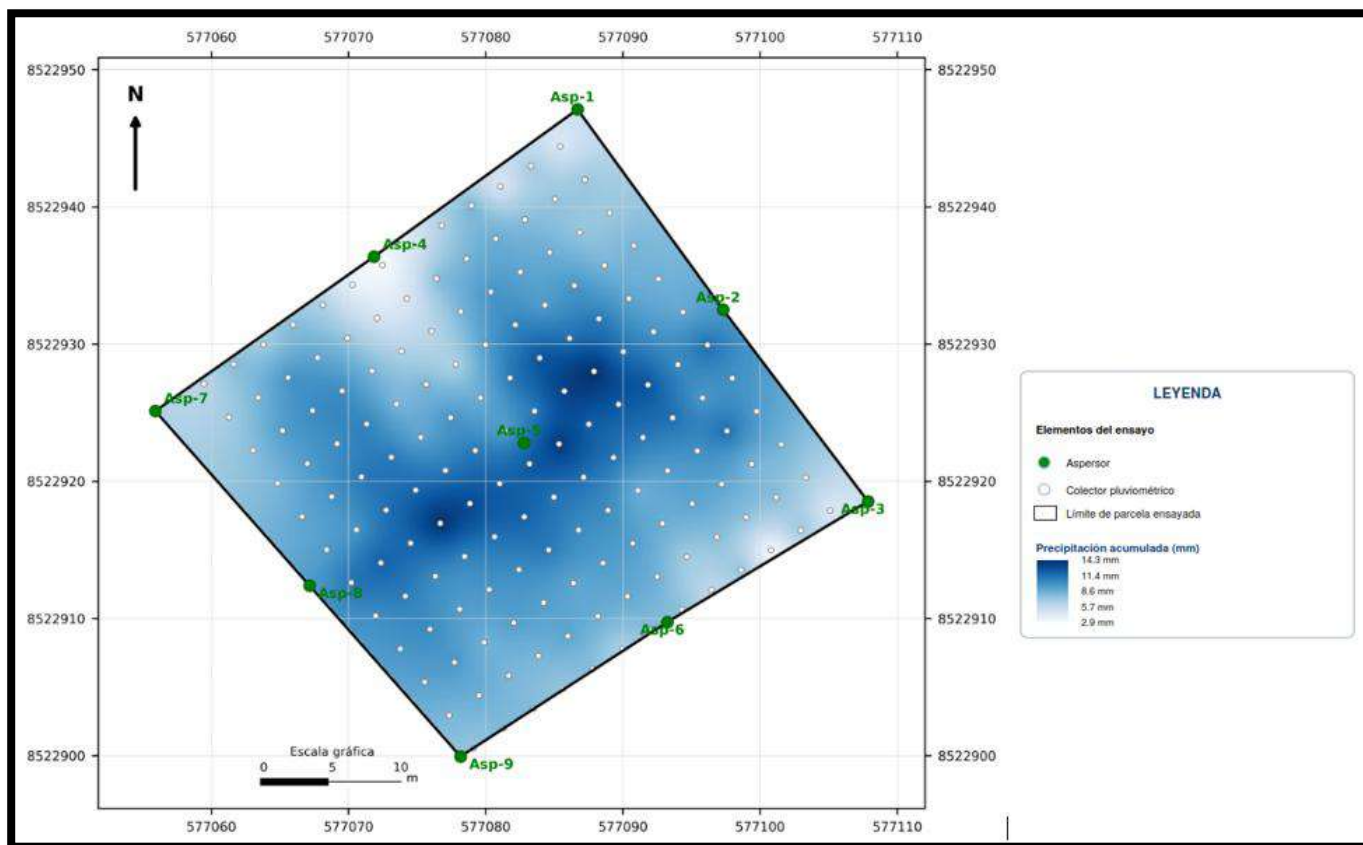
Visualización topográfica en campo de Manzanayocc.



En la Figura 13., podemos observar de manera esquemática la colocación de los aspersores en campo durante la prueba realizada en Manzanayocc.

Figura 14.

Mapa de distribución de la precipitación mediante isoyetas en el área de Manzanayocc.



Visualizando la Figura 14., podemos entender de manera gráfica la distribución de las zonas con más húmedas de las con menos húmedas entendiendo la uniformidad del riego.

- **Santa Bárbara:**

- **Prueba de Christiansen:** a continuación, se determinó el coeficiente de uniformidad de Christiansen a partir de los registros obtenidos en la localidad de Santa Bárbara. Metodológicamente, se calculó de forma inicial la media aritmética de las lecturas pluviométricas y su respectiva varianza estadística respecto al promedio.

Para la realización de este cálculo se usó la formula (1). Ecuación para hallar el Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (CUC):

$$CUC = \left(1 - \frac{\sum |X_i - \bar{X}|}{n * \bar{X}} \right) \times 100 \dots \dots (1)$$

$\bar{X}$: promedio de las lecturas

X_i : valor de lectura i

n : número de lecturas

$$n = 240$$

$$\bar{X} = 119.19$$

$$\sum |X_i - \bar{X}| = 8,391.20$$

$$n \times \bar{X} = 28,605.20$$

$$CUC = \left(1 - \frac{\sum |X_i - \bar{X}|}{n * \bar{X}} \right) \times 100$$

$$CUC = \left(1 - \frac{8,391.20}{28,605.20} \right) \times 100$$

$$CUC = (1 - 0.29) \times 100$$

$$CUC = 100 \times 0.71 = \mathbf{71\%}$$

Tabla 28.

Análisis de los valores de pluviómetros recolectados en Santa Bárbara.

N° de pluviómetro	Cantidad de agua (ml)	Varianza	
		[Xi - X]	[Xi - X]^2
1	100.00	19.19	368.32
2	114.00	5.19	26.95
3	123.00	3.81	14.50
4	130.00	10.81	116.82
5	132.00	12.81	164.05
6	135.00	15.81	249.90
7	151.00	31.81	1011.77
8	150.00	30.81	949.15
9	135.00	15.81	249.90
10	128.00	8.81	77.59
11	120.00	0.81	0.65
12	100.00	19.19	368.32
13	112.00	7.19	51.72
14	112.00	7.19	51.72
15	112.00	7.19	51.72
16	122.00	2.81	7.89
17	132.00	12.81	164.05
18	132.00	12.81	164.05
19	153.00	33.81	1143.00
20	145.00	25.81	666.07
21	144.00	24.81	615.45
22	143.00	23.81	566.84
23	143.00	23.81	566.84
24	128.00	8.81	77.59
25	73.00	46.19	2133.67
26	84.00	35.19	1238.45
27	95.00	24.19	585.24
28	96.00	23.19	537.85
29	125.00	5.81	33.74
30	145.00	25.81	666.07
31	140.00	20.81	432.99
32	123.00	3.81	14.50
33	110.00	9.19	84.49
34	105.00	14.19	201.40
35	103.00	16.19	262.17
36	93.00	26.19	686.00
37	62.00	57.19	3270.89
38	63.00	56.19	3157.50
39	67.00	52.19	2723.97
40	75.00	44.19	1952.90
41	80.00	39.19	1535.99
42	95.00	24.19	585.24
43	130.00	10.81	116.82
44	130.00	10.81	116.82
45	127.00	7.81	60.97
46	120.00	0.81	0.65
47	116.00	3.19	10.19
48	105.00	14.19	201.40
49	53.00	66.19	4381.34
50	75.00	44.19	1952.90
51	125.00	5.81	33.74
52	130.00	10.81	116.82
53	150.00	30.81	949.15
54	180.00	60.81	3697.65
55	118.00	1.19	1.42
56	112.00	7.19	51.72
57	109.00	10.19	103.87
58	100.00	19.19	368.32
59	95.00	24.19	585.24
60	73.00	46.19	2133.67
61	175.00	55.81	3114.57
62	185.00	65.81	4330.74
63	230.00	110.81	12278.49
64	348.00	228.81	52353.25
65	465.00	345.81	119583.40
66	460.00	340.81	116150.32
67	100.00	19.19	368.32
68	97.00	22.19	492.47
69	96.00	23.19	537.85
70	94.00	25.19	634.62
71	93.00	26.19	686.00
72	89.00	30.19	911.54
73	105.00	14.19	201.40
74	106.00	13.19	174.02
75	109.00	10.19	103.87
76	137.00	17.81	317.14
77	185.00	65.81	4330.74
78	240.00	120.81	14594.65
79	97.00	22.19	492.47
80	91.00	28.19	794.77
81	90.00	29.19	852.15
82	85.00	34.19	1169.07
83	80.00	39.19	1535.99
84	80.00	39.19	1535.99
85	70.00	49.19	2419.82
86	75.00	44.19	1952.90
87	86.00	33.19	1101.69
88	109.00	10.19	103.87
89	110.00	9.19	84.49
90	145.00	25.81	666.07
91	109.00	10.19	103.87
92	106.00	13.19	174.02
93	91.00	28.19	794.77
94	85.00	34.19	1169.07
95	58.00	61.19	3744.42
96	55.00	64.19	4120.57
97	85.00	34.19	1169.07
98	85.00	34.19	1169.07
99	89.00	30.19	911.54
100	132.00	12.81	164.05
101	140.00	20.81	432.99
102	170.00	50.81	2581.49
103	85.00	34.19	1169.07
104	84.00	35.19	1238.45
105	77.00	42.19	1780.14
106	76.00	43.19	1865.52
107	75.00	44.19	1952.90
108	66.00	53.19	2829.35
109	85.00	34.19	1169.07
110	105.00	14.19	201.40
111	109.00	10.19	103.87
112	141.00	21.81	475.60
113	142.00	22.81	520.22
114	160.00	40.81	1665.32
115	165.00	45.81	2098.40
116	128.00	8.81	77.59
117	80.00	39.19	1535.99
118	76.00	43.19	1865.52
119	70.00	49.19	2419.82
120	64.00	55.19	3046.12
121	64.00	55.19	3046.12
122	70.00	49.19	2419.82
123	76.00	43.19	1865.52
124	80.00	39.19	1535.99
125	128.00	8.81	77.59
126	165.00	45.81	2098.40
127	160.00	40.81	1665.32
128	142.00	22.81	520.22
129	141.00	21.81	475.60
130	109.00	10.19	103.87
131	105.00	14.19	201.40
132	85.00	34.19	1169.07
133	66.00	53.19	2829.35
134	75.00	44.19	1952.90
135	76.00	43.19	1865.52
136	77.00	42.19	1780.14
137	84.00	35.19	1238.45
138	85.00	34.19	1169.07
139	170.00	50.81	2581.49
140	140.00	20.81	432.99
141	132.00	12.81	164.05
142	89.00	30.19	911.54
143	85.00	34.19	1169.07
144	85.00	34.19	1169.07
145	55.00	64.19	4120.57
146	58.00	61.19	3744.42
147	85.00	34.19	1169.07
148	91.00	28.19	794.77
149	106.00	13.19	174.02
150	109.00	10.19	103.87
151	145.00	25.81	666.07
152	110.00	9.19	84.49
153	109.00	10.19	103.87
154	86.00	33.19	1101.69
155	75.00	44.19	1952.90
156	70.00	49.19	2419.82
157	80.00	39.19	1535.99
158	80.00	39.19	1535.99
159	85.00	34.19	1169.07
160	90.00	29.19	852.15
161	91.00	28.19	794.77
162	97.00	22.19	492.47
163	240.00	120.81	14594.65
164	185.00	65.81	4330.74
165	137.00	17.81	317.14
166	109.00	10.19	103.87
167	106.00	13.19	174.02
168	105.00	14.19	201.40
169	89.00	30.19	911.54
170	93.00	26.19	686.00
171	94.00	25.19	634.62
172	96.00	23.19	537.85
173	97.00	22.19	492.47
174	100.00	19.19	368.32
175	465.00	345.81	119583.40
176	460.00	340.81	116150.32
177	348.00	228.81	52353.25
178	230.00	110.81	12278.49
179	185.00	65.81	4330.74
180	175.00	55.81	3114.57
181	73.00	46.19	2133.67
182	95.00	24.19	585.24
183	100.00	19.19	368.32
184	109.00	10.19	103.87
185	112.00	7.19	51.72
186	118.00	1.19	1.42
187	180.00	60.81	3697.65
188	150.00	30.81	949.15
189	130.00	10.81	116.82
190	125.00	5.81	33.74
191	75.00	44.19	1952.90
192	53.00	66.19	4381.34
193	105.00	14.19	201.40
194	116.00	3.19	10.19
195	120.00	0.81	0.65
196	127.00	7.81	60.97
197	130.00	10.81	116.82
198	130.00	10.81	116.82
199	95.00	24.19	585.24
200	80.00	39.19	1535.99
201	75.00	44.19	1952.90
202	67.00	52.19	2723.97
203	63.00	56.19	3157.50
204	62.00	57.19	3270.89
205	93.00	26.19	686.00
206	103.00	16.19	262.17
207	105.00	14.19	201.40
208	110.00	9.19	84.49
209	123.00	3.81	14.50
210	140.00	20.81	432.99
211	145.00	25.81	666.07
212	125.00	5.81	33.74
213	96.00	23.19	537.85
214	95.00	24.19	585.24
215	84.00	35.19	1238.45
216	73.00	46.19	2133.67
217	128.00	8.81	77.59
218	143.00	23.81	566.84
219	143.00	23.81	566.84
220	144.00	24.81	615.45
221	145.00	25.81	666.07
222	153.00	33.81	1143.00
223	132.00	12.81	164.05
224	132.00	12.81	164.05
225	122.00	2.81	7.89
226	112.00	7.19	51.72
227	112.00	7.19	51.72
228	112.00	7.19	51.72
229	100.00	19.19	368.32
230	120.00	0.81	0.65
231	128.00	8.81	77.59
232	135.00	15.81	249.90
233	150.00	30.81	949.15
234	151.00	31.81	1011.77
235	135.00	15.81	249.90
236	132.00	12.81	164.05
237	130.00	10.81	116.82
238	123.00	3.81	14.50
239	114.00	5.19	26.95
240	100.00	19.19	368.32
PROMEDIO	119.19	8391.20	858265.18
		SUMATORIA	SUMATORIA

Ahora se realizará el cálculo de los demás indicadores de eficiencia del riego:

1. **Coeficiente de Variación de Descarga de Santa Bárbara:** A continuación, se procedió al cálculo del coeficiente de variación de descarga de los emisores, empleando los registros experimentales obtenidos en la localidad de Santa Bárbara.

Para el cálculo de este coeficiente se usó la fórmula 2. Ecuación para hallar el coeficiente de variación de descarga (CVD):

$$CVD = \frac{\sigma}{\bar{X}} \times 100 \dots\dots (2)$$

$\bar{X}$: promedio de las lecturas

σ : des. est. lecturas de lámina de riego

$$n = 240$$

$$\bar{X} = 119.19$$

$$\sum |X_i - \bar{X}|^2 = 858,265.18$$

$$Varianza = \frac{\sum |X_i - \bar{X}|^2}{n} = \frac{858,265.18}{240} = 3576.10$$

Desviación Estándar:

$$\sigma = \sqrt{Varianza} \rightarrow \sigma = \sqrt{3576.10} = 59.80$$

Coeficiente de variación de descarga:

$$CVD = \frac{\sigma}{\bar{X}} \times 100 \rightarrow CVD = \frac{59.80}{119.19} \times 100 = 50.17\%$$

2. **Coeficiente de Distribución de Santa Bárbara:** seguidamente, se determinó el coeficiente de distribución a partir de los datos experimentales de Santa Bárbara (consignados en el ANEXO B). Metodológicamente, este parámetro se estimó calculando el promedio aritmético del 25% de los valores mínimos registrados.

Para el cálculo de este coeficiente se usó la fórmula 3. Ecuación para hallar el coeficiente de distribución (CD):

$$CD = \frac{X_{25\%}}{\bar{X}} \times 100 \dots\dots (3)$$

$\bar{X}$: promedio de las lecturas

$X_{25\%}$: prom. De 25% de men. Lecturas de láminas de riego

$$n = 240$$

$$25\% n = 60 \text{ datos}$$

$$CD = \frac{X_{25\%}}{\bar{X}} \times 100 \rightarrow CD = \frac{73.87}{119.19} \times 100 = \mathbf{61.98\%}$$

3. **Índice de Desempeño del Sistema:** a partir de los parámetros calculados previamente, se procedió a estimar este indicador para evaluar el desempeño hidráulico del sistema, lo cual permite verificar la operatividad y eficiencia de sus componentes.

Para el cálculo de este indicador se usó la fórmula 4. Ecuación para hallar el índice de desempeño del sistema (IDS):

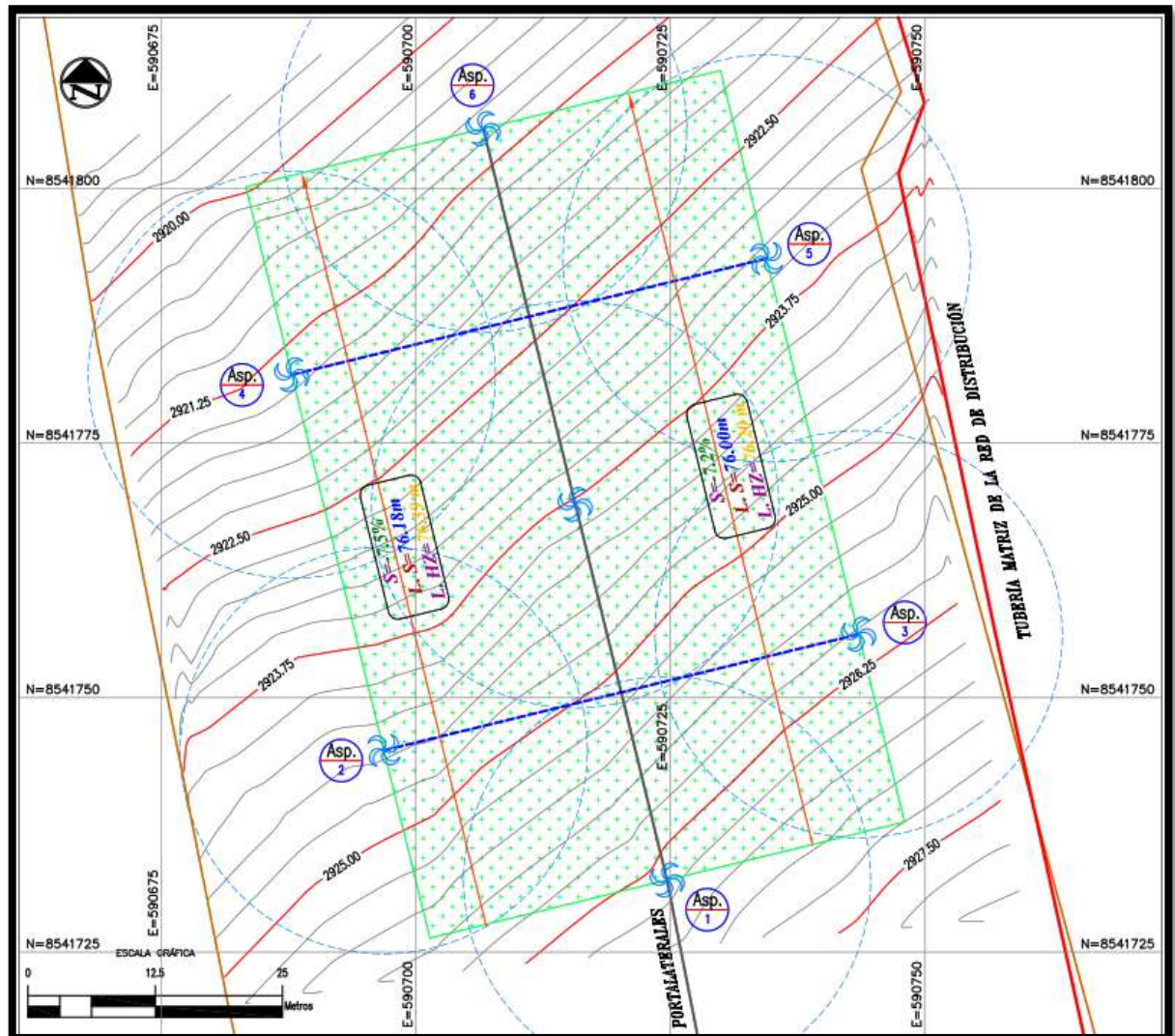
$$IDS = CUC \times CD \dots\dots (4)$$

$$IDS = 0.71 \times 0.62$$

$$IDS = \mathbf{44.02\%}$$

Figura 15.

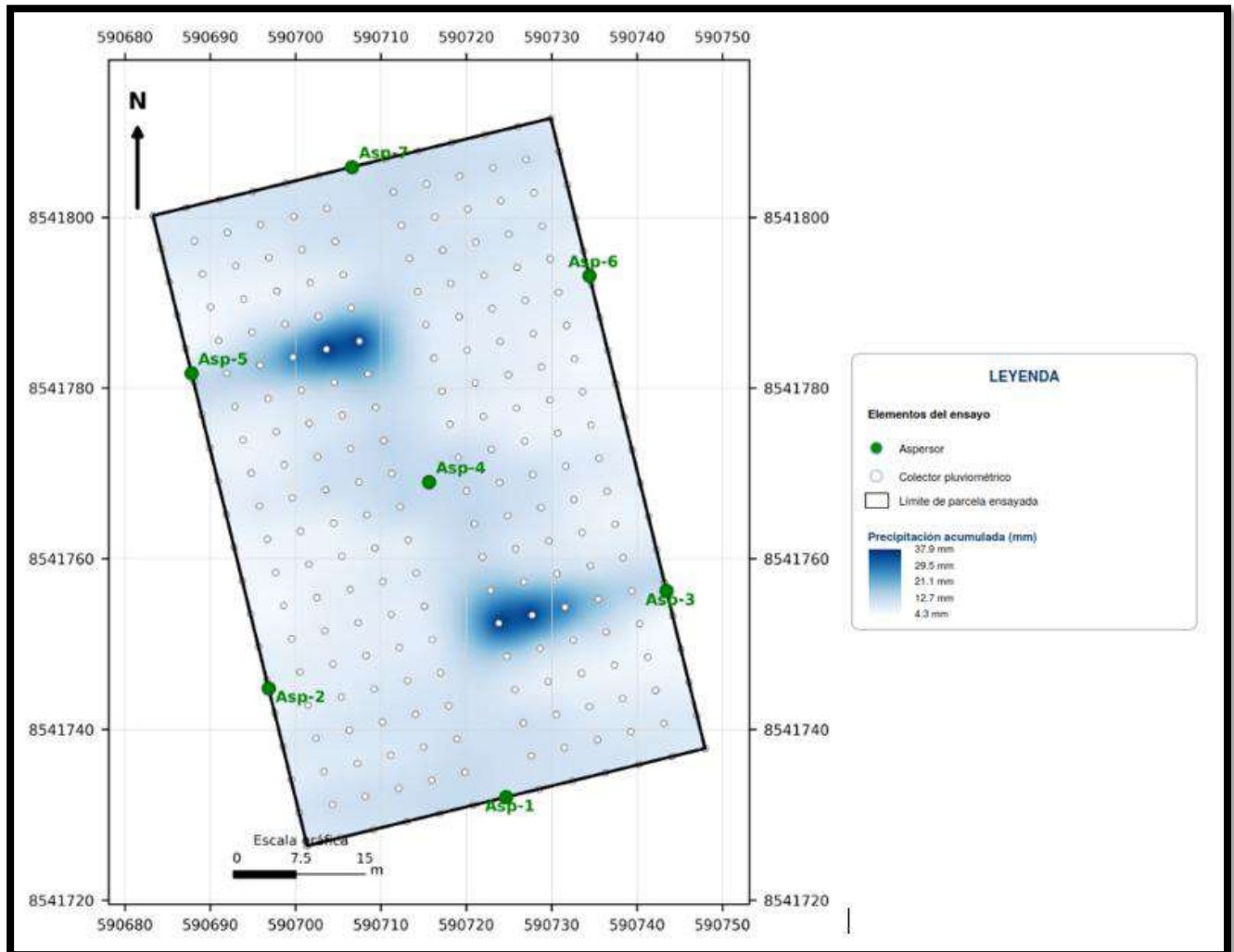
Visualización topográfica en campo de Santa Bárbara.



En la Figura 15., podemos observar de manera esquemática la colocación de los aspersores en campo durante la prueba realizada en Santa Bárbara.

Figura 16.

Mapa de distribución de la precipitación mediante isoyetas en el área de Santa Bárbara.



Visualizando la Figura 16., podemos entender de manera gráfica la distribución de las zonas con más húmedas de las con menos húmedas entendiendo la uniformidad del riego.

- **Cusibamba:**

- **Prueba de Christiansen:** a continuación, se determinó el coeficiente de uniformidad de Christiansen a partir de los registros obtenidos en la localidad de Cusibamba. Metodológicamente, se calculó de forma inicial la media aritmética de las lecturas pluviométricas y su respectiva varianza estadística respecto al promedio.

Para la realización de este cálculo se usó la formula (1). Ecuación para hallar el Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (CUC):

$$CUC = \left(1 - \frac{\sum |X_i - \bar{X}|}{n * \bar{X}} \right) \times 100 \dots \dots (1)$$

$\bar{X}$: promedio de las lecturas

X_i : valor de lectura i

n : número de lecturas

$$n = 150$$

$$\bar{X} = 118.91$$

$$\sum |X_i - \bar{X}| = 3,423.25$$

$$n \times \bar{X} = 17,836.50$$

$$CUC = \left(1 - \frac{\sum |X_i - \bar{X}|}{n * \bar{X}} \right) \times 100$$

$$CUC = \left(1 - \frac{3,423.25}{17,836.50} \right) \times 100$$

$$CUC = (1 - 0.19) \times 100$$

$$CUC = 100 \times 0.81 = \mathbf{81\%}$$

Tabla 29.

Análisis de los valores de pluviómetros recolectados en Cusibamba.

N° de pluviómetro	Cantidad de agua (ml)	Varianza	
		[Xi - X]	[Xi - X]^2
1	110.00	8.91	79.33
2	111.00	7.91	62.52
3	147.00	28.09	789.24
4	155.00	36.09	1302.73
5	173.00	54.09	2926.09
6	160.00	41.09	1688.66
7	140.00	21.09	444.93
8	120.00	1.09	1.20
9	108.00	10.91	118.96
10	100.00	18.91	357.46
11	100.00	18.91	357.46
12	101.00	17.91	320.65
13	120.00	1.09	1.20
14	123.00	4.09	16.76
15	137.00	18.09	327.37
16	151.00	32.09	1029.98
17	115.00	3.91	15.26
18	102.00	16.91	285.84
19	100.00	18.91	357.46
20	50.00	68.91	4748.13
21	96.00	22.91	524.72
22	125.00	6.09	37.13
23	125.00	6.09	37.13
24	130.00	11.09	123.06
25	175.00	56.09	3146.46
26	140.00	21.09	444.93
27	120.00	1.09	1.20
28	117.00	1.91	3.64
29	107.00	11.91	141.77
30	100.00	18.91	357.46
31	110.00	8.91	79.33
32	110.00	8.91	79.33
33	106.00	12.91	166.58
34	103.00	15.91	253.02
35	90.00	28.91	835.60
36	151.00	32.09	1029.98
37	140.00	21.09	444.93
38	108.00	10.91	118.96
39	102.00	16.91	285.84
40	100.00	18.91	357.46
41	70.00	48.91	2391.86
42	73.00	45.91	2107.42
43	85.00	33.91	1149.66
44	108.00	10.91	118.96
45	115.00	3.91	15.26
46	166.00	47.09	2217.78
47	160.00	41.09	1688.66
48	155.00	36.09	1302.73
49	128.00	9.09	82.69
50	118.00	0.91	0.82
51	82.00	36.91	1362.10
52	90.00	28.91	835.60
53	105.00	13.91	193.40
54	109.00	9.91	98.14
55	115.00	3.91	15.26
56	105.00	13.91	193.40
57	95.00	23.91	571.53
58	90.00	28.91	835.60
59	86.00	32.91	1082.85
60	82.00	36.91	1362.10
61	95.00	23.91	571.53
62	102.00	16.91	285.84
63	105.00	13.91	193.40
64	112.00	6.91	47.70
65	124.00	5.09	25.94
66	143.00	24.09	580.49
67	125.00	6.09	37.13
68	122.00	3.09	9.57
69	100.00	18.91	357.46
70	92.00	26.91	723.97
71	121.00	2.09	4.38
72	127.00	8.09	65.50
73	128.00	9.09	82.69
74	143.00	24.09	580.49
75	150.00	31.09	966.80
76	150.00	31.09	966.80
77	135.00	16.09	259.00
78	130.00	11.09	123.06
79	129.00	10.09	101.88
80	131.00	12.09	146.25
81	55.00	63.91	4084.06
82	57.00	61.91	3832.44
83	75.00	43.91	1927.80
84	90.00	28.91	835.60
85	130.00	11.09	123.06
86	146.00	27.09	734.05
87	140.00	21.09	444.93
88	138.00	19.09	364.56
89	120.00	1.09	1.20
90	100.00	18.91	357.46
91	55.00	63.91	4084.06
92	75.00	43.91	1927.80
93	90.00	28.91	835.60
94	95.00	23.91	571.53
95	145.00	26.09	680.86
96	152.00	33.09	1095.17
97	112.00	6.91	47.70
98	100.00	18.91	357.46
99	90.00	28.91	835.60
100	90.00	28.91	835.60
101	92.00	26.91	723.97
102	95.00	23.91	571.53
103	100.00	18.91	357.46
104	110.00	8.91	79.33
105	145.00	26.09	680.86
106	200.00	81.09	6576.13
107	170.00	51.09	2610.53
108	120.00	1.09	1.20
109	95.00	23.91	571.53
110	90.00	28.91	835.60
111	83.00	35.91	1289.29
112	100.00	18.91	357.46
113	115.00	3.91	15.26
114	120.00	1.09	1.20
115	146.00	27.09	734.05
116	125.00	6.09	37.13
117	125.00	6.09	37.13
118	106.00	12.91	166.58
119	85.00	33.91	1149.66
120	85.00	33.91	1149.66
121	117.00	1.91	3.64
122	121.00	2.09	4.38
123	128.00	9.09	82.69
124	130.00	11.09	123.06
125	135.00	16.09	259.00
126	120.00	1.09	1.20
127	120.00	1.09	1.20
128	120.00	1.09	1.20
129	106.00	12.91	166.58
130	95.00	23.91	571.53
131	105.00	13.91	193.40
132	110.00	8.91	79.33
133	110.00	8.91	79.33
134	111.00	7.91	62.52
135	120.00	1.09	1.20
136	198.00	79.09	6255.76
137	192.00	73.09	5342.64
138	175.00	56.09	3146.46
139	164.00	45.09	2033.41
140	143.00	24.09	580.49
141	100.00	18.91	357.46
142	101.00	17.91	320.65
143	107.00	11.91	141.77
144	125.00	6.09	37.13
145	132.00	13.09	171.44
146	290.00	171.09	29272.93
147	175.00	56.09	3146.46
148	173.00	54.09	2926.09
149	140.00	21.09	444.93
150	132.00	13.09	171.44
PROMEDIO	118.91	3423.25	145277.36
		SUMATORIA	SUMATORIA

Posteriormente se procederá a realizar el cálculo de los demás indicadores de eficiencia del riego:

1. ***Coefficiente de Variación de Descarga de Cusibamba:*** A continuación, se procedió al cálculo del coeficiente de variación de descarga de los emisores, empleando los registros experimentales obtenidos en la localidad de Cusibamba.

Para el cálculo de este coeficiente se usó la fórmula 2. Ecuación para hallar el coeficiente de variación de descarga (CVD):

$$CVD = \frac{\sigma}{\bar{X}} \times 100 \dots\dots (2)$$

$\bar{X}$: promedio de las lecturas

σ : des. est. lecturas de lámina de riego

$$n = 150$$

$$\bar{X} = 118.91$$

$$\sum |X_i - \bar{X}|^2 = 144,053.96$$

$$Varianza = \frac{\sum |X_i - \bar{X}|^2}{n} = \frac{144,053.96}{150} = 960.36$$

Desviación Estándar:

$$\sigma = \sqrt{Varianza} \rightarrow \sigma = \sqrt{960.36} = 30.99$$

Coefficiente de variación de descarga:

$$CVD = \frac{\sigma}{\bar{X}} \times 100 \rightarrow CVD = \frac{30.99}{118.91} \times 100 = \mathbf{26.06\%}$$

2. **Coeficiente de Distribución de Cusibamba:** seguidamente, se determinó el coeficiente de distribución a partir de los datos experimentales de Cusibamba (consignados en el ANEXO B). Metodológicamente, este parámetro se estimó calculando el promedio aritmético del 25% de los valores mínimos registrados.

Para el cálculo de este coeficiente se usó la fórmula 3. Ecuación para hallar el coeficiente de distribución (CD):

$$CD = \frac{X_{25\%}}{\bar{X}} \times 100 \dots\dots (3)$$

$\bar{X}$: promedio de las lecturas

$X_{25\%}$: prom. De 25% de men. Lecturas de láminas de riego

$$n = 150$$

$$25\% n = 38 \text{ datos}$$

$$CD = \frac{X_{25\%}}{\bar{X}} \times 100 \rightarrow CD = \frac{86.00}{118.91} \times 100 = 72.32\%$$

3. **Índice de Desempeño del Sistema:** a partir de los parámetros calculados previamente, se procedió a estimar este indicador para evaluar el desempeño hidráulico del sistema, lo cual permite verificar la operatividad y eficiencia de sus componentes.

Para el cálculo de este indicador se usó la fórmula 4. Ecuación para hallar el índice de desempeño del sistema (IDS):

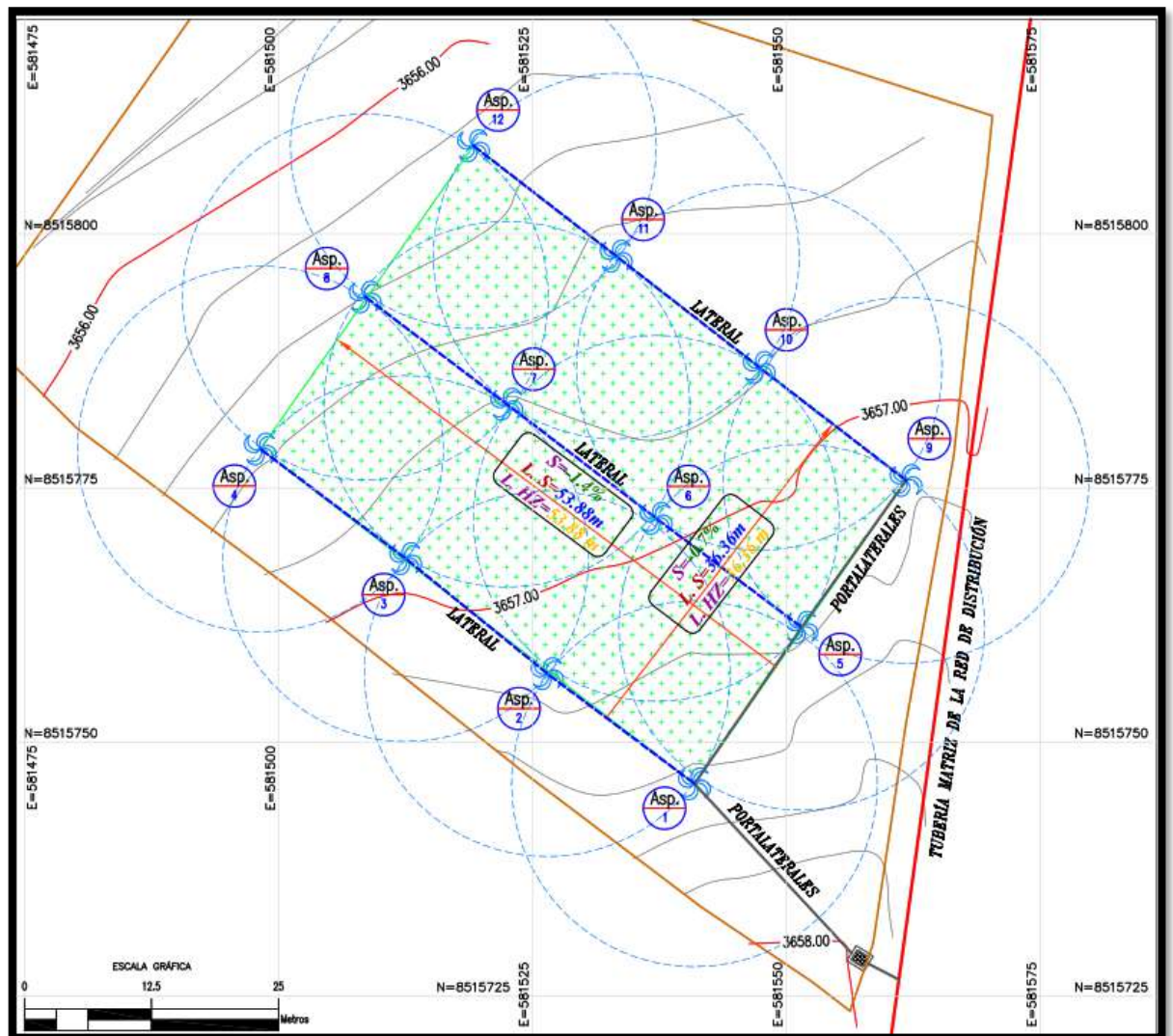
$$IDS = CUC \times CD \dots\dots (4)$$

$$IDS = 0.81 \times 0.72$$

$$IDS = 58.32\%$$

Figura 17.

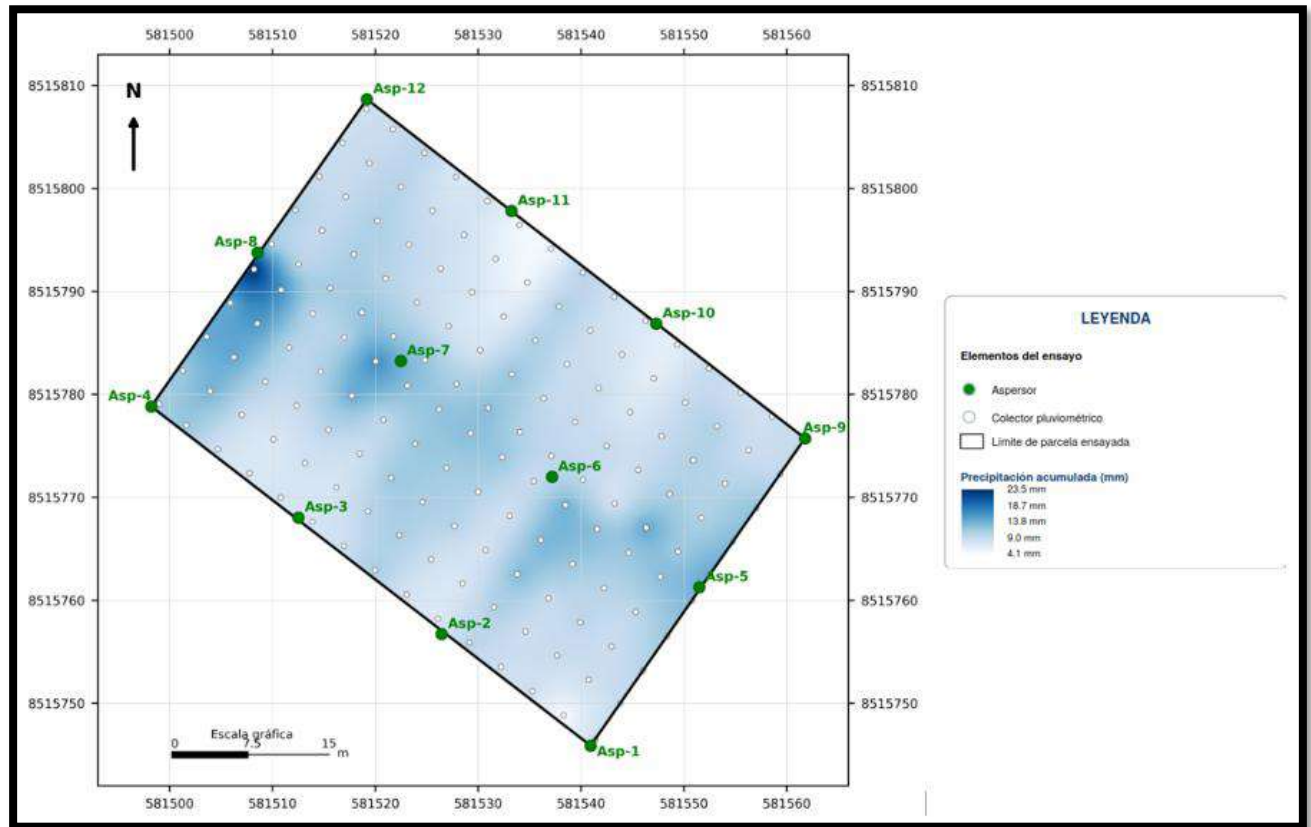
Visualización topográfica en campo de Cusibamba.



En la Figura 17., podemos observar de manera esquemática la colocación de los aspersores en campo durante la prueba realizada en Cusibamba.

Figura 18.

Mapa de distribución de la precipitación mediante isoyetas en el área de Cusibamba.



Visualizando la figura 18, podemos entender de manera gráfica la distribución de las zonas con más húmedas de las con menos húmedas entendiendo la uniformidad del riego.

- **Acosvinchos:**

- **Prueba de Christiansen:** a continuación, se determinó el coeficiente de uniformidad de Christiansen a partir de los registros obtenidos en la localidad de Acosvinchos. Metodológicamente, se calculó de forma inicial la media aritmética de las lecturas pluviométricas y su respectiva varianza estadística respecto al promedio.

Para la realización de este cálculo se usó la formula (1). Ecuación para hallar el Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (CUC):

$$CUC = \left(1 - \frac{\sum |X_i - \bar{X}|}{n * \bar{X}} \right) \times 100 \dots \dots (1)$$

$\bar{X}$: promedio de las lecturas

X_i : valor de lectura i

n : número de lecturas

$$n = 130$$

$$\bar{X} = 119.38$$

$$\sum |X_i - \bar{X}| = 3,345.69$$

$$n \times \bar{X} = 15,519.40$$

$$CUC = \left(1 - \frac{\sum |X_i - \bar{X}|}{n * \bar{X}} \right) \times 100$$

$$CUC = \left(1 - \frac{3,345.69}{15,519.40} \right) \times 100$$

$$CUC = (1 - 0.22) \times 100$$

$$CUC = 100 \times 0.78 = \mathbf{78\%}$$

Tabla 30.

Análisis de los valores de pluviómetros recolectados en Acosvinchos.

N° de pluviómetro	Cantidad de agua (ml)	Varianza	
		[Xi - X]	[Xi - X]^2
1	95.00	24.38	594.61
2	115.00	4.38	19.22
3	140.00	20.62	424.99
4	152.00	32.62	1063.76
5	162.00	42.62	1816.07
6	130.00	10.62	112.69
7	115.00	4.38	19.22
8	115.00	4.38	19.22
9	105.00	14.38	206.92
10	100.00	19.38	375.76
11	93.00	26.38	696.15
12	115.00	4.38	19.22
13	140.00	20.62	424.99
14	151.00	31.62	999.53
15	165.00	45.62	2080.76
16	135.00	15.62	243.84
17	120.00	0.62	0.38
18	120.00	0.62	0.38
19	100.00	19.38	375.76
20	95.00	24.38	594.61
21	101.00	18.38	337.99
22	106.00	13.38	179.15
23	120.00	0.62	0.38
24	135.00	15.62	243.84
25	146.00	26.62	708.38
26	125.00	5.62	31.53
27	110.00	9.38	88.07
28	106.00	13.38	179.15
29	100.00	19.38	375.76
30	100.00	19.38	375.76
31	69.00	50.38	2538.61
32	85.00	34.38	1182.30
33	91.00	28.38	805.69
34	113.00	6.38	40.76
35	207.00	87.62	7676.46
36	130.00	10.62	112.69
37	115.00	4.38	19.22
38	107.00	12.38	153.38
39	105.00	14.38	206.92
40	98.00	21.38	457.30
41	64.00	55.38	3067.46
42	88.00	31.38	984.99
43	92.00	27.38	749.92
44	100.00	19.38	375.76
45	112.00	7.38	54.53
46	125.00	5.62	31.53
47	118.00	1.38	1.92
48	115.00	4.38	19.22
49	105.00	14.38	206.92
50	90.00	29.38	863.46
51	95.00	24.38	594.61
52	100.00	19.38	375.76
53	110.00	9.38	88.07
54	110.00	9.38	88.07
55	175.00	55.62	3093.07
56	161.00	41.62	1731.84
57	151.00	31.62	999.53
58	145.00	25.62	656.15
59	103.00	16.38	268.46
60	25.00	94.38	8908.46
61	90.00	29.38	863.46
62	100.00	19.38	375.76
63	100.00	19.38	375.76
64	104.00	15.38	236.69
65	110.00	9.38	88.07
66	115.00	4.38	19.22
67	106.00	13.38	179.15
68	88.00	31.38	984.99
69	80.00	39.38	1551.15
70	75.00	44.38	1969.99
71	90.00	29.38	863.46
72	95.00	24.38	594.61
73	120.00	0.62	0.38
74	146.00	26.62	708.38
75	187.00	67.62	4571.84
76	95.00	24.38	594.61
77	93.00	26.38	696.15
78	90.00	29.38	863.46
79	84.00	35.38	1252.07
80	75.00	44.38	1969.99
81	140.00	20.62	424.99
82	150.00	30.62	937.30
83	156.00	36.62	1340.69
84	162.00	42.62	1816.07
85	165.00	45.62	2080.76
86	90.00	29.38	863.46
87	80.00	39.38	1551.15
88	80.00	39.38	1551.15
89	76.00	43.38	1882.22
90	70.00	49.38	2438.84
91	125.00	5.62	31.53
92	135.00	15.62	243.84
93	160.00	40.62	1649.61
94	160.00	40.62	1649.61
95	170.00	50.62	2561.92
96	150.00	30.62	937.30
97	128.00	8.62	74.22
98	105.00	14.38	206.92
99	105.00	14.38	206.92
100	104.00	15.38	236.69
101	76.00	43.38	1882.22
102	97.00	22.38	501.07
103	142.00	22.62	511.46
104	166.00	46.62	2172.99
105	200.00	80.62	6498.84
106	165.00	45.62	2080.76
107	152.00	32.62	1063.76
108	150.00	30.62	937.30
109	150.00	30.62	937.30
110	145.00	25.62	656.15
111	95.00	24.38	594.61
112	100.00	19.38	375.76
113	110.00	9.38	88.07
114	125.00	5.62	31.53
115	156.00	36.62	1340.69
116	185.00	65.62	4305.38
117	161.00	41.62	1731.84
118	151.00	31.62	999.53
119	142.00	22.62	511.46
120	130.00	10.62	112.69
121	79.00	40.38	1630.92
122	93.00	26.38	696.15
123	110.00	9.38	88.07
124	115.00	4.38	19.22
125	185.00	65.62	4305.38
126	151.00	31.62	999.53
127	149.00	29.62	877.07
128	145.00	25.62	656.15
129	115.00	4.38	19.22
130	110.00	9.38	88.07
PROMEDIO	119.38	3345.69	127118.77
		SUMATORIA	SUMATORIA

Posteriormente, se realizará el cálculo de los demás indicadores de eficiencia del riego:

1. ***Coefficiente de Variación de Descarga de Acosvinchos:*** A continuación, se procedió al cálculo del coeficiente de variación de descarga de los emisores, empleando los registros experimentales obtenidos en la localidad de Acosvinchos.

Para el cálculo de este coeficiente se usó la fórmula 2. Ecuación para hallar el coeficiente de variación de descarga (CVD):

$$CVD = \frac{\sigma}{\bar{X}} \times 100 \dots\dots (2)$$

$\bar{X}$: promedio de las lecturas

σ : des. est. lecturas de lámina de riego

$$n = 130$$

$$\bar{X} = 119.38$$

$$\sum |X_i - \bar{X}|^2 = 127,118.77$$

$$Varianza = \frac{\sum |X_i - \bar{X}|^2}{n} = \frac{127,118.77}{130} = 977.84$$

Desviación Estándar:

$$\sigma = \sqrt{Varianza} \rightarrow \sigma = \sqrt{977.84} = 31.27$$

Coefficiente de variación de descarga:

$$CVD = \frac{\sigma}{\bar{X}} \times 100 \rightarrow CVD = \frac{31.27}{119.38} \times 100 = \mathbf{26.19\%}$$

2. **Coeficiente de Distribución de Acosvinchos:** seguidamente, se determinó el coeficiente de distribución a partir de los datos experimentales de Acosvinchos (consignados en el ANEXO B). Metodológicamente, este parámetro se estimó calculando el promedio aritmético del 25% de los valores mínimos registrados.

Para el cálculo de este coeficiente se usó la fórmula 3. Ecuación para hallar el coeficiente de distribución (CD):

$$CD = \frac{X_{25\%}}{\bar{X}} \times 100 \dots\dots (3)$$

$\bar{X}$: promedio de las lecturas

$X_{25\%}$: prom. De 25% de men. Lecturas de láminas de riego

$$n = 130$$

$$25\% n = 33 \text{ datos}$$

$$CD = \frac{X_{25\%}}{\bar{X}} \times 100 \rightarrow CD = \frac{84.03}{119.38} \times 100 = 70.39\%$$

3. **Índice de Desempeño del Sistema:** a partir de los parámetros calculados previamente, se procedió a estimar este indicador para evaluar el desempeño hidráulico del sistema, lo cual permite verificar la operatividad y eficiencia de sus componentes.

Para el cálculo de este indicador se usó la fórmula 4. Ecuación para hallar el índice de desempeño del sistema (IDS):

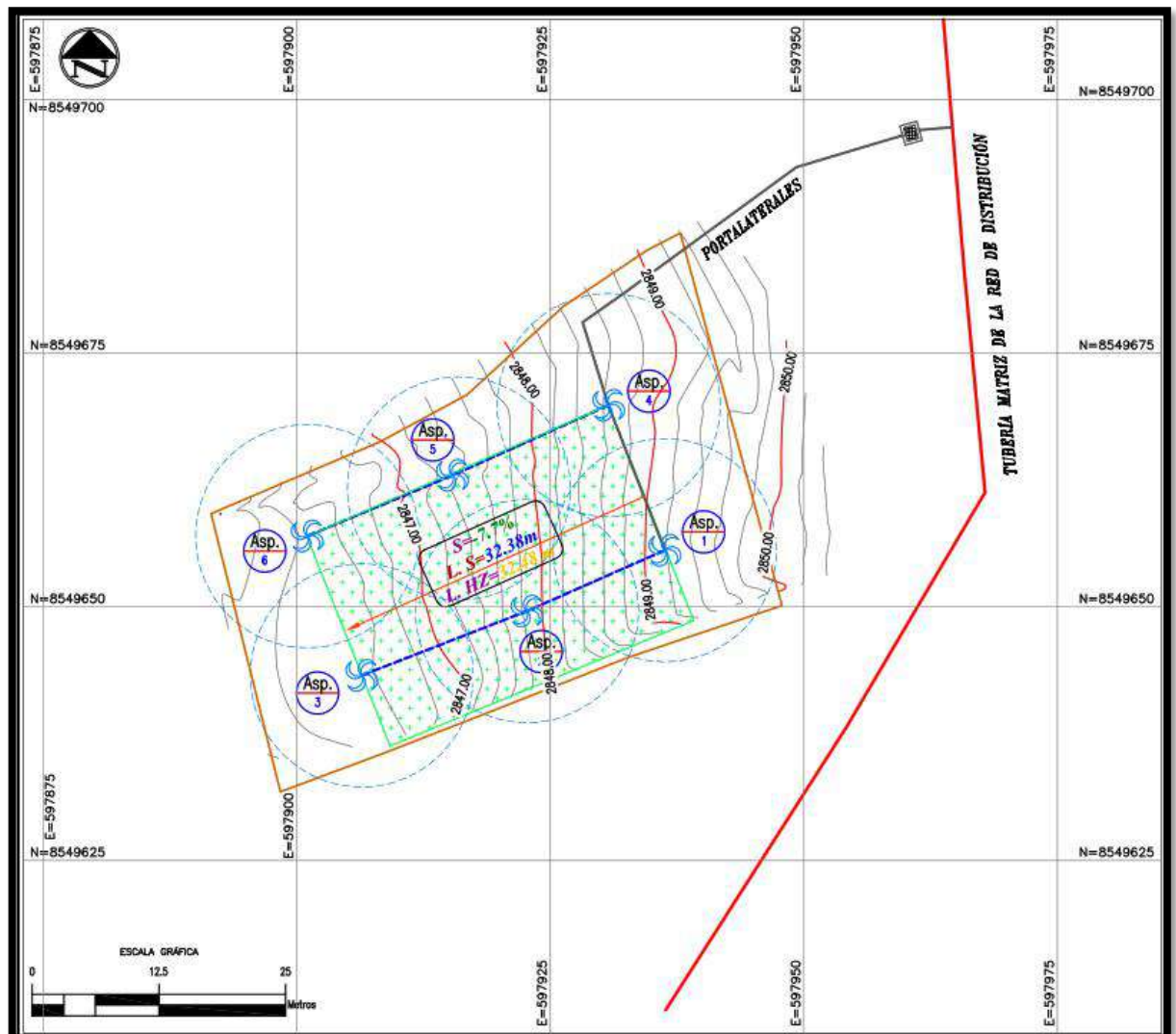
$$IDS = CUC \times CD \dots\dots (4)$$

$$IDS = 0.78 \times 0.70$$

$$IDS = 54.60\%$$

Figura 19.

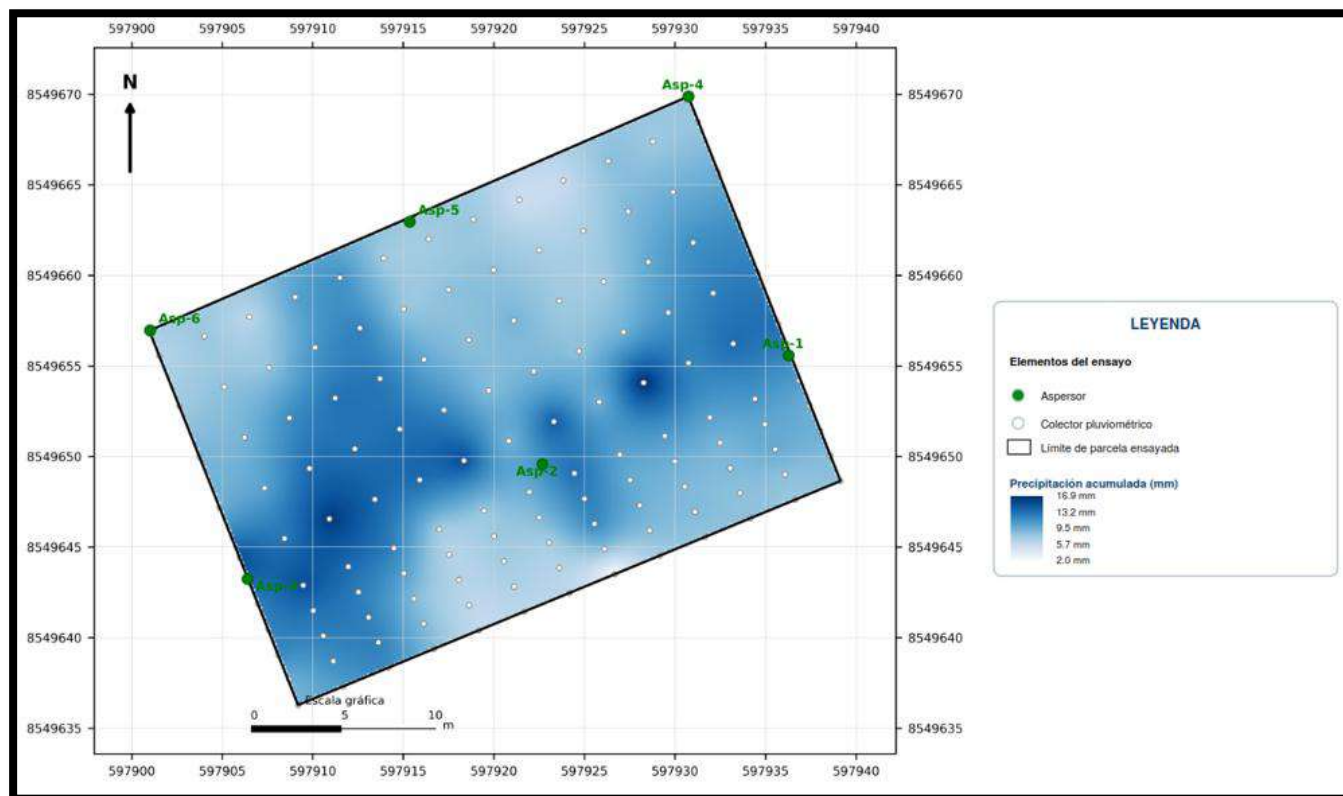
Visualización topográfica en campo de Acosvinchos.



En la figura 19., podemos observar de manera esquemática la colocación de los aspersores en campo durante la prueba realizada en Acosvinchos.

Figura 20.

Mapa de distribución de la precipitación mediante isoyetas en el área de Acosvinchos.



Visualizando la Figura 20., podemos entender de manera gráfica la distribución de las zonas con más húmedas de las con menos húmedas entendiendo la uniformidad del riego.

Objetivo C: Comparar los CUC de los comités evaluados y clasificarlos

Ahora terminado de realizar los cálculos; vamos a realizar la comparativa de los CUC y la clasificación de los mismos que posteriormente usaremos en las conclusiones y discusiones:

Tabla 31.

Cuadro resumen de resultados del CUC y demás coeficientes hidráulicos.

ZONA	CUC ($\geq 85\%$)	CVD ($< 10\%$)	CD ($> 75\%$)	IDS
Casaorcco	77.00%	27.75%	61.61%	47.74%
Manzanayocc	82.00%	23.66%	70.55%	58.22%
Santa Bárbara	71.00%	50.17%	61.98%	44.02%
Cusibamba	81.00%	26.06%	72.32%	58.32%
Acosvinchos	78.00%	26.19%	70.39%	54.60%

Continuando con el proceso de comparación y clasificación; tomaremos los valores obtenidos y los posicionaremos en los cuadros de uniformidad según los diferentes autores:

- **Casaorcco:**

CUC ($\geq 85\%$)	77.00%
---------------------	--------

♠ **Según Merriam y Keller:**

Valor del coeficiente de uniformidad (CU)	Calificación del desempeño operativo	Implicancia práctica en el riego por aspersión
$75\% \leq CU < 85\%$	Bueno	Rango aceptable en la mayoría de proyectos agrícolas tecnificados comerciales.

♠ **Según Pizarro Cabello:**

Rango de uniformidad (%)	Calificación del sistema	Criterio de operación e implicancias agronómicas
70% - 80%	Medio / regular	Aceptable en sistemas antiguos o de gran escala, pero requiere ajustes operativos.

♠ Según ASAE:

Rango del coeficiente de uniformidad (%)	Categoría de desempeño (ASAE)	Descripción técnica y aplicación
70% - 79%	Regular / marginal	Aceptable únicamente si los costos de bombeo son bajos o si el cultivo posee alta tolerancia al estrés hídrico temporal.

• Manzanayocc:

CUC ($\geq 85\%$)	82.00%
---------------------	--------

♠ Según Merriam y Keller:

Valor del coeficiente de uniformidad (CU)	Calificación del desempeño operativo	Implicancia práctica en el riego por aspersión
$75\% \leq CU < 85\%$	Bueno	Rango aceptable en la mayoría de proyectos agrícolas tecnificados comerciales.

♠ Según Pizarro Cabello:

Rango de uniformidad (%)	Calificación del sistema	Criterio de operación e implicancias agronómicas
80% - 90%	Bueno	Nivel esperado en instalaciones modernas bien proyectadas y mantenidas. Las pérdidas por percolación profunda y el déficit son mínimos.

♠ Según ASAE:

Rango del coeficiente de uniformidad (%)	Categoría de desempeño (ASAE)	Descripción técnica y aplicación
80% - 84%	Bueno	Considerado el estándar mínimo deseable para proyectos de inversión pública o privada en riego presurizado comercial.

• Santa Bárbara:

CUC ($\geq 85\%$)	71.00%
---------------------	--------

♠ Según Merriam y Keller:

Valor del coeficiente de uniformidad (CU)	Calificación del desempeño operativo	Implicancia práctica en el riego por aspersión
$60\% \leq CU < 75\%$	Regular / Marginal	Indica problemas moderados de presiones descompensadas, espaciamientos inadecuados entre aspersores o efecto de vientos moderados.

♠ Según Pizarro Cabello:

Rango de uniformidad (%)	Calificación del sistema	Criterio de operación e implicancias agronómicas
70% - 80%	Medio / regular	Aceptable en sistemas antiguos o de gran escala, pero requiere ajustes operativos.

♠ Según ASAE:

Rango del coeficiente de uniformidad (%)	Categoría de desempeño (ASAE)	Descripción técnica y aplicación
70% - 79%	Regular / marginal	Aceptable únicamente si los costos de bombeo son bajos o si el cultivo posee alta tolerancia al estrés hídrico temporal.

• Cusibamba:

CUC ($\geq 85\%$)	81.00%
---------------------	--------

♠ Según Merriam y Keller:

Valor del coeficiente de uniformidad (CU)	Calificación del desempeño operativo	Implicancia práctica en el riego por aspersión
$75\% \leq CU < 85\%$	Bueno	Rango aceptable en la mayoría de proyectos agrícolas tecnificados comerciales.

♠ Según Pizarro Cabello:

Rango de uniformidad (%)	Calificación del sistema	Criterio de operación e implicancias agronómicas
80% - 90%	Bueno	Nivel esperado en instalaciones modernas bien proyectadas y mantenidas. Las pérdidas por percolación profunda y el déficit son mínimos.

♠ Según ASAE:

Rango del coeficiente de uniformidad (%)	Categoría de desempeño (ASAE)	Descripción técnica y aplicación
80% - 84%	Bueno	Considerado el estándar mínimo deseable para proyectos de inversión pública o privada en riego presurizado comercial.

• Acosvinchos:

CUC ($\geq 85\%$)	78.00%
---------------------	--------

♠ Según Merriam y Keller:

Valor del coeficiente de uniformidad (CU)	Calificación del desempeño operativo	Implicancia práctica en el riego por aspersión
$75\% \leq CU < 85\%$	Bueno	Rango aceptable en la mayoría de proyectos agrícolas tecnificados comerciales.

♠ Según Pizarro Cabello:

Rango de uniformidad (%)	Calificación del sistema	Criterio de operación e implicancias agronómicas
70% - 80%	Medio / regular	Aceptable en sistemas antiguos o de gran escala, pero requiere ajustes operativos.

♠ Según ASAE:

Rango del coeficiente de uniformidad (%)	Categoría de desempeño (ASAE)	Descripción técnica y aplicación
70% - 79%	Regular / marginal	Aceptable únicamente si los costos de bombeo son bajos o si el cultivo posee alta tolerancia al estrés hídrico temporal.

Objetivo D: Propuesta de mejora de valor CUC en los comités de riego:

Posteriormente, a la realización de las pruebas de CUC en los distintos comités de riego se obtuvieron distintos valores entre buenos y regulares; observando los valores; podemos mencionar formas de mejora entre estas sería también el cambio de aspersores en campo con la intención de mejora del valor de CUC, con tal finalidad se visualiza un recuento de los aspersores observados en campo:

Tabla 32.

Aspersores observados en campo

Lugar	Tipo de aspersor
Casaorcco	Senninger 7025 - 23°
Manzanayocc	Senninger 3023 – 2
Santa Bárbara	VYR - 66
Cusibamba	AKONA (KA-30)
Acosvinchos	NAANDANJAIN 5022 SD-U

A continuación, se procedió a realizar una prueba con la finalidad de obtener la velocidad de infiltración en cada una de las parcelas que se ubican dentro de los comités de riego. El procedimiento realizado se observa en la **figura 80** dando los siguientes resultados:

Tabla 33.

Velocidades de infiltración obtenidos en campo.

Lugar	Velocidad de infiltración (mm/hr)
Casaorcco	22 mm/hr
Manzanayocc	12 mm/hr
Santa Bárbara	16 mm/hr
Cusibamba	16 mm/hr
Acosvinchos	8 mm/hr

Ahora continuamos con el cálculo de la pluviometría de un aspersor recomendado; para poder aceptar dicho aspersor:

Tabla 34

Aspersor recomendado para aumentar CUC.

Especificaciones Técnicas	Aspersor AKONA (KA - 30)
Presión de trabajo mínima:	
1.5 bar	
Alta resistencia a los rayos	
UV	
Radio de trabajo:	
12 – 16 metros	
Caudal de trabajo:	
1200 – 2500 lt/h	
Presión eficaz de trabajo:	
2 – 3 bares	

Calcularemos la pluviometría del aspersor (PP), tomando en cuenta las especificaciones técnicas:

$$PP = 3600 \times \frac{Q \text{ (lt/seg)}}{\pi \times R^2}$$

$$PP_1 = 3600 \times \frac{0.33 \text{ (lt/seg)}}{\pi \times (12)^2} ; \quad PP_2 = 3600 \times \frac{0.69 \text{ (lt/seg)}}{\pi \times (16)^2}$$

$$PP_1 = 3600 \times \frac{0.33}{452.39} ; \quad PP_2 = 3600 \times \frac{0.69}{804.25}$$

$$PP_1 = 2.63 \text{ mm/hr} ; \quad PP_2 = 3.09 \text{ mm/hr}$$

El resultado obtenido muestra una pluviometría entre el rango 2.63 – 3.09 mm/hr.

Para confirmar la selección del aspersor **AKONA KA – 30** se debe confirmar mediante la comparativa entre la pluviometría del aspersor con los valores de velocidad de infiltración; por ende, al comparar todos los valores de velocidad deben ser mayores al valor de pluviometría del aspersor.

2.63 – 3.09 mm/hr	<	22 mm/hr
		12 mm/hr
		16 mm/hr
		16 mm/hr
		8 mm/hr

PRUEBAS DE CUC ADICIONALES EN CAMPO

A. Comité de riego de Casaorcco:

- Casaorcco:

- **Prueba de Christiansen:** tras la ejecución de un segundo ensayo en campo en la localidad de Casaorcco, implementada tras incorporar la mejora operativa consistente en el reemplazo de los aspersores Senninger 7025 por el AKONA KA – 30, se procedió al cálculo del coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC). Metodológicamente, se determinó inicialmente el promedio de las lecturas pluviométricas y la respectiva varianza de los datos en relación con dicha media.

Para la realización de este cálculo se usó la formula (1). Ecuación para hallar el Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (CUC):

$$CUC = \left(1 - \frac{\sum |X_i - \bar{X}|}{n * \bar{X}} \right) \times 100 \dots \dots (1)$$

$\bar{X}$: promedio de las lecturas

X_i : valor de lectura i

n : número de lecturas

$$n = 221$$

$$\bar{X} = 99.80$$

$$\sum |X_i - \bar{X}| = 3,919.51$$

$$n \times \bar{X} = 22,055.80$$

$$CUC = \left(1 - \frac{\sum |X_i - \bar{X}|}{n * \bar{X}} \right) \times 100$$

$$CUC = \left(1 - \frac{3,919.51}{22,055.80} \right) \times 100$$

$$CUC = (1 - 0.177) \times 100$$

$$CUC = 100 \times 0.823 = \mathbf{82.30\%}$$

Tabla 35.

Análisis de los valores de pluviómetros recolectados de Casaorcco(adicional).

N° de pluviómetro	Cantidad de agua (ml) Xi	Varianza	
		[Xi - X]	[Xi - X]^2
1	81.0	18.83	354.50
2	103.0	3.17	10.06
3	119.0	19.17	367.56
4	120.0	20.17	406.91
5	111.0	11.17	124.81
6	88.0	11.83	139.90
7	82.0	17.83	317.84
8	64.0	35.83	1283.65
9	83.0	16.83	283.18
10	84.0	15.83	250.53
11	114.0	14.17	200.84
12	124.0	24.17	584.28
13	130.0	30.17	910.35
14	125.0	25.17	633.63
15	125.0	25.17	633.63
16	110.0	10.17	103.47
17	68.0	31.83	1013.03
18	80.0	19.83	393.15
19	93.0	6.83	46.62
20	110.0	10.17	103.47
21	124.0	24.17	584.28
22	125.0	25.17	633.63
23	105.0	5.17	26.75
24	85.0	14.83	219.87
25	70.0	29.83	889.71
26	68.0	31.83	1013.03
27	75.0	24.83	616.43
28	80.0	19.83	393.15
29	90.0	9.83	96.59
30	110.0	10.17	103.47
31	130.0	30.17	910.35
32	128.0	28.17	793.66
33	105.0	5.17	26.75
34	84.0	15.83	250.53
35	75.0	24.83	616.43
36	80.0	19.83	393.15
37	88.0	11.83	139.90
38	110.0	10.17	103.47
39	123.0	23.17	536.94
40	128.0	28.17	793.66
41	135.0	35.17	1237.07
42	110.0	10.17	103.47
43	100.0	0.17	0.03
44	90.0	9.83	96.59
45	65.0	34.83	1212.99
46	70.0	29.83	889.71
47	80.0	19.83	393.15
48	115.0	15.17	230.19
49	130.0	30.17	910.35
50	135.0	35.17	1237.07
51	110.0	10.17	103.47
52	85.0	14.83	219.87
53	70.0	29.83	889.71
54	75.0	24.83	616.43
55	95.0	4.83	23.31
56	100.0	0.17	0.03
57	120.0	20.17	406.91
58	130.0	30.17	910.35
59	120.0	20.17	406.91
60	120.0	20.17	406.91
61	100.0	0.17	0.03
62	88.0	11.83	139.90
63	65.0	34.83	1212.99
64	75.0	24.83	616.43
65	80.0	19.83	393.15
66	130.0	30.17	910.35
67	130.0	30.17	910.35
68	112.0	12.17	148.16
69	100.0	0.17	0.03
70	75.0	24.83	616.43
71	70.0	29.83	889.71
72	80.0	19.83	393.15
73	90.0	9.83	96.59
74	90.0	9.83	96.59
75	105.0	5.17	26.75
76	135.0	35.17	1237.07
77	95.0	4.83	23.31
78	90.0	9.83	96.59
79	70.0	29.83	889.71
80	75.0	24.83	616.43
81	75.0	24.83	616.43
82	85.0	14.83	219.87
83	90.0	9.83	96.59
84	115.0	15.17	230.19
85	130.0	30.17	910.35
86	115.0	15.17	230.19
87	100.0	0.17	0.03
88	75.0	24.83	616.43
89	70.0	29.83	889.71
90	90.0	9.83	96.59
91	95.0	4.83	23.31
92	118.0	18.17	330.22
93	125.0	25.17	633.63
94	120.0	20.17	406.91
95	91.0	8.83	77.93
96	90.0	9.83	96.59
97	78.0	21.83	476.46
98	95.0	4.83	23.31
99	100.0	0.17	0.03
100	120.0	20.17	406.91
101	140.0	40.17	1613.79
102	140.0	40.17	1613.79
103	100.0	0.17	0.03
104	90.0	9.83	96.59
105	90.0	9.83	96.59
106	85.0	14.83	219.87
107	75.0	24.83	616.43
108	95.0	4.83	23.31
109	107.0	7.17	51.44
110	130.0	30.17	910.35
111	138.0	38.17	1457.10
112	110.0	10.17	103.47
113	105.0	5.17	26.75
114	85.0	14.83	219.87
115	70.0	29.83	889.71
116	67.0	32.83	1077.68
117	78.0	21.83	476.46
118	108.0	8.17	66.78
119	110.0	10.17	103.47
120	120.0	20.17	406.91
121	110.0	10.17	103.47
122	95.0	4.83	23.31
123	85.0	14.83	219.87
124	80.0	19.83	393.15
125	65.0	34.83	1212.99
126	70.0	29.83	889.71
127	90.0	9.83	96.59
128	110.0	10.17	103.47
129	140.0	40.17	1613.79
130	130.0	30.17	910.35
131	125.0	25.17	633.63
132	90.0	9.83	96.59
133	85.0	14.83	219.87
134	70.0	29.83	889.71
135	103.0	3.17	10.06
136	115.0	15.17	230.19
137	115.0	15.17	230.19
138	120.0	20.17	406.91
139	110.0	10.17	103.47
140	105.0	5.17	26.75
141	85.0	14.83	219.87
142	75.0	24.83	616.43
143	70.0	29.83	889.71
144	90.0	9.83	96.59
145	105.0	5.17	26.75
146	115.0	15.17	230.19
147	115.0	15.17	230.19
148	105.0	5.17	26.75
149	82.0	17.83	317.84
150	70.0	29.83	889.71
151	70.0	29.83	889.71
152	95.0	4.83	23.31
153	120.0	20.17	406.91
154	125.0	25.17	633.63
155	125.0	25.17	633.63
156	125.0	25.17	633.63
157	120.0	20.17	406.91
158	95.0	4.83	23.31
159	77.0	22.83	521.12
160	70.0	29.83	889.71
161	80.0	19.83	393.15
162	95.0	4.83	23.31
163	125.0	25.17	633.63
164	130.0	30.17	910.35
165	130.0	30.17	910.35
166	125.0	25.17	633.63
167	115.0	15.17	230.19
168	110.0	10.17	103.47
169	65.0	34.83	1212.99
170	85.0	14.83	219.87
171	95.0	4.83	23.31
172	95.0	4.83	23.31
173	115.0	15.17	230.19
174	130.0	30.17	910.35
175	128.0	28.17	793.66
176	120.0	20.17	406.91
177	107.0	7.17	51.44
178	75.0	24.83	616.43
179	108.0	8.17	66.78
180	115.0	15.17	230.19
181	125.0	25.17	633.63
182	125.0	25.17	633.63
183	105.0	5.17	26.75
184	95.0	4.83	23.31
185	85.0	14.83	219.87
186	73.0	26.83	719.74
187	85.0	14.83	219.87
188	95.0	4.83	23.31
189	110.0	10.17	103.47
190	110.0	10.17	103.47
191	120.0	20.17	406.91
192	130.0	30.17	910.35
193	90.0	9.83	96.59
194	85.0	14.83	219.87
195	75.0	24.83	616.43
196	65.0	34.83	1212.99
197	85.0	14.83	219.87
198	95.0	4.83	23.31
199	110.0	10.17	103.47
200	130.0	30.17	910.35
201	115.0	15.17	230.19
202	100.0	0.17	0.03
203	95.0	4.83	23.31
204	70.0	29.83	889.71
205	75.0	24.83	616.43
206	80.0	19.83	393.15
207	105.0	5.17	26.75
208	110.0	10.17	103.47
209	125.0	25.17	633.63
210	115.0	15.17	230.19
211	95.0	4.83	23.31
212	95.0	4.83	23.31
213	85.0	14.83	219.87
214	73.0	26.83	719.74
215	85.0	14.83	219.87
216	102.0	2.17	4.72
217	121.0	21.17	448.25
218	119.0	19.17	367.56
219	102.0	2.17	4.72
220	95.0	4.83	23.31
221	85.0	14.83	219.87
PROMEDIO (X)	99.8	3922.52	91855.47
		SUMATORIA	SUMATORIA

Continuaremos con el cálculo de los demás indicadores de eficiencia del riego:

1. ***Coficiente de Variación de Descarga de Casaorcco:*** posteriormente, a partir de los datos recolectados en la segunda evaluación de campo efectuada en Casaorcco tras la implementación de la mejora operativa consistente en el reemplazo de los aspersores Senninger 7025 por el modelo AKONA KA – 30, se procedió a determinar el coeficiente de variación de descarga del sistema.

Para el cálculo de este punto se usó la fórmula 2. Ecuación para hallar el Coeficiente de Variación de Descarga (CVD):

$$CVD = \frac{\sigma}{\bar{X}} \times 100 \dots\dots (2)$$

$\bar{X}$: promedio de las lecturas

σ : des. est. lecturas de lámina de riego

$$n = 221$$

$$\bar{X} = 99.80$$

$$\sum |X_i - \bar{X}|^2 = 91,772.33$$

$$Varianza = \frac{\sum |X_i - \bar{X}|^2}{n} = \frac{91,772.33}{221} = 415.26$$

Desviación Estándar:

$$\sigma = \sqrt{Varianza} \rightarrow \sigma = \sqrt{415.26} = 20.38$$

Coeficiente de variación de descarga:

$$CVD = \frac{\sigma}{\bar{X}} \times 100 \rightarrow CVD = \frac{20.38}{99.80} \times 100 = \mathbf{20.42\%}$$

2. **Coeficiente de Distribución de Casaorcco:** a partir de los registros obtenidos en la segunda evaluación de campo en Casaorcco ejecutada tras implementar la mejora operativa consistente en el reemplazo de los aspersores Senninger 7025 por el modelo AKONA KA – 30, cuyos datos detallados se presentan en los ANEXOS B, se procedió a determinar el coeficiente de distribución. Metodológicamente, este cálculo se basó en la extracción y promediación del cuartil inferior (25% de los valores menores) del total de las lecturas recolectadas.

Para el cálculo de este punto se usó la fórmula 3. Ecuación para hallar el Coeficiente de Distribución (CD):

$$CD = \frac{X_{25\%}}{\bar{X}} \times 100 \quad \dots\dots (3)$$

$\bar{X}$: promedio de las lecturas

$X_{25\%}$: prom. De 25% de men. Lecturas de láminas de riego

$$n = 221$$

$$25\% n = 56 \text{ datos}$$

$$CD = \frac{X_{25\%}}{\bar{X}} \times 100 \rightarrow CD = \frac{73.96}{99.80} \times 100 = 74.11\%$$

3. **Índice de Desempeño del Sistema:** con base en la información recopilada durante el segundo ensayo en Casaorcco, desarrollado posterior a la sustitución de los emisores Senninger 7025 por los aspersores AKONA KA – 30, se calculó este parámetro de rendimiento. Este resultado constituye un elemento clave para cuantificar el comportamiento del

sistema y corroborar la correcta integración y funcionalidad de sus componentes en campo.

Para el cálculo de este punto se usó la fórmula 4. Ecuación para hallar el Índice de Desempeño del Sistema (IDS):

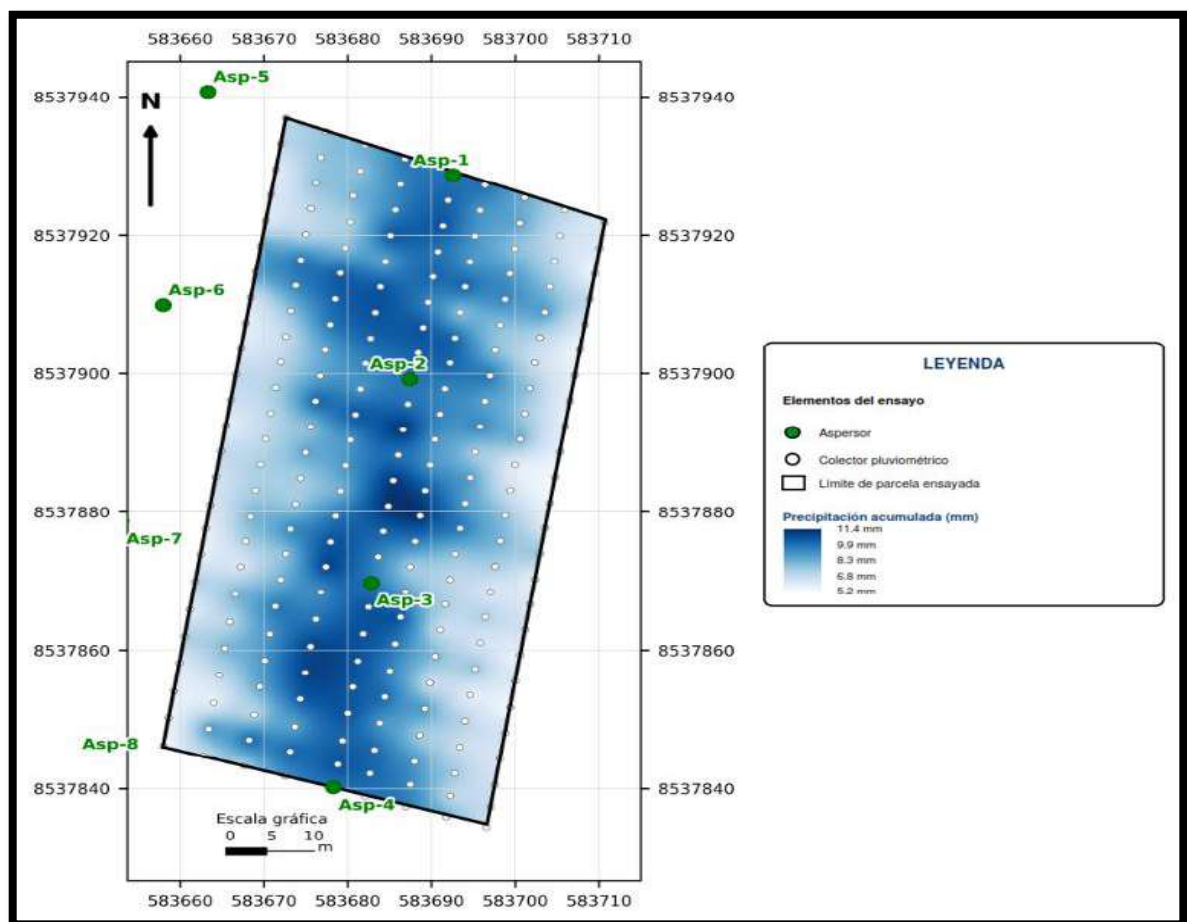
$$IDS = CUC \times CD \dots\dots (4)$$

$$IDS = 0.823 \times 0.74$$

$$IDS = 60.90\%$$

Figura 21.

Mapa de distribución de la precipitación en el área de Casaorcco(adicional).



Visualizando la Figura 21., podemos entender de manera gráfica la distribución de las zonas con más húmedas de las con menos húmedas entendiendo la uniformidad del riego.

B. Comité de riego de Santa Bárbara:

- Santa Bárbara:

- **Prueba de Christiansen:** tras la ejecución de un segundo ensayo en campo en la localidad de Santa Bárbara, implementada tras incorporar la mejora operativa consistente en el reemplazo de los aspersores VYR 66 por el AKONA KA – 30, se procedió al cálculo del coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC). Metodológicamente, se determinó inicialmente el promedio de las lecturas pluviométricas y la respectiva varianza de los datos en relación con dicha media.

Para la realización de este cálculo se usó la formula (1). Ecuación para hallar el Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (CUC):

$$CUC = \left(1 - \frac{\sum |X_i - \bar{X}|}{n * \bar{X}} \right) \times 100 \dots \dots (1)$$

$\bar{X}$: promedio de las lecturas

X_i : valor de lectura i

n : número de lecturas

$$n = 168$$

$$\bar{X} = 98.05$$

$$\sum |X_i - \bar{X}| = 3,459.29$$

$$n \times \bar{X} = 16,472.40$$

$$CUC = \left(1 - \frac{\sum |X_i - \bar{X}|}{n * \bar{X}} \right) \times 100$$

$$CUC = \left(1 - \frac{3,459.29}{16,472.40} \right) \times 100$$

$$CUC = (1 - 0.21) \times 100$$

$$CUC = 100 \times 0.79 = \mathbf{79\%}$$

Tabla 36.

Análisis estadístico de los datos de Santa Bárbara(adicional).

N° de pluviómetro	Cantidad de agua (ml)	Varianza	
		[Xi - X]	[Xi - X]^2
1	68.00	29.98	898.57
2	80.00	17.98	323.14
3	100.00	2.02	4.10
4	101.00	3.02	9.14
5	103.00	5.02	25.24
6	67.00	30.98	959.52
7	65.00	32.98	1087.43
8	60.00	37.98	1442.19
9	66.00	31.98	1022.48
10	104.00	6.02	36.29
11	121.00	23.02	530.10
12	122.00	24.02	577.14
13	125.00	27.02	730.29
14	108.00	10.02	100.48
15	94.00	3.98	15.81
16	94.00	3.98	15.81
17	79.00	18.98	360.10
18	62.00	35.98	1294.29
19	89.00	8.98	80.57
20	93.00	4.98	24.76
21	112.00	14.02	196.67
22	127.00	29.02	842.38
23	127.00	29.02	842.38
24	113.00	15.02	225.71
25	111.00	13.02	169.62
26	83.00	14.98	224.29
27	71.00	26.98	727.71
28	75.00	22.98	527.91
29	100.00	2.02	4.10
30	122.00	24.02	577.14
31	136.00	38.02	1445.81
32	124.00	26.02	677.24
33	118.00	20.02	400.95
34	106.00	8.02	64.38
35	102.00	4.02	16.19
36	64.00	33.98	1154.38
37	73.00	24.98	623.81
38	97.00	0.98	0.95
39	120.00	22.02	485.05
40	123.00	25.02	626.19
41	102.00	4.02	16.19
42	75.00	22.98	527.91
43	68.00	29.98	898.57
44	67.00	30.98	959.52
45	69.00	28.98	839.62
46	83.00	14.98	224.29
47	100.00	2.02	4.10
48	113.00	15.02	225.71
49	133.00	35.02	1226.67
50	126.00	28.02	785.33
51	102.00	4.02	16.19
52	80.00	17.98	323.14
53	70.00	27.98	782.67
54	62.00	35.98	1294.29
55	93.00	4.98	24.76
56	103.00	5.02	25.24
57	105.00	7.02	49.33
58	139.00	41.02	1682.95
59	137.00	39.02	1522.86
60	135.00	37.02	1370.76

61	90.00	7.98	63.62
62	75.00	22.98	527.91
63	55.00	42.98	1846.95
64	58.00	39.98	1598.10
65	68.00	29.98	898.57
66	72.00	25.98	674.76
67	78.00	19.98	399.05
68	101.00	3.02	9.14
69	82.00	15.98	255.24
70	79.00	18.98	360.10
71	75.00	22.98	527.91
72	61.00	36.98	1367.24
73	84.00	13.98	195.33
74	98.00	0.02	0.00
75	138.00	40.02	1601.91
76	117.00	19.02	361.91
77	114.00	16.02	256.76
78	95.00	2.98	8.86
79	93.00	4.98	24.76
80	76.00	21.98	482.95
81	80.00	17.98	323.14
82	83.00	14.98	224.29
83	110.00	12.02	144.57
84	132.00	34.02	1157.62
85	135.00	37.02	1370.76
86	134.00	36.02	1297.71
87	130.00	32.02	1025.52
88	82.00	15.98	255.24
89	61.00	36.98	1367.24
90	79.00	18.98	360.10
91	81.00	16.98	288.19
92	88.00	9.98	99.52
93	145.00	47.02	2211.24
94	133.00	35.02	1226.67
95	131.00	33.02	1090.57
96	74.00	23.98	574.86
97	72.00	25.98	674.76
98	74.00	23.98	574.86
99	119.00	21.02	442.00
100	120.00	22.02	485.05
101	126.00	28.02	785.33
102	138.00	40.02	1601.91
103	133.00	35.02	1226.67
104	118.00	20.02	400.95
105	96.00	1.98	3.91
106	84.00	13.98	195.33
107	65.00	32.98	1087.43
108	83.00	14.98	224.29
109	104.00	6.02	36.29
110	110.00	12.02	144.57
111	138.00	40.02	1601.91
112	140.00	42.02	1766.00
113	139.00	41.02	1682.95
114	91.00	6.98	48.67
115	62.00	35.98	1294.29
116	78.00	19.98	399.05
117	84.00	13.98	195.33
118	105.00	7.02	49.33
119	113.00	15.02	225.71
120	118.00	20.02	400.95
121	117.00	19.02	361.91
122	89.00	8.98	80.57
123	83.00	14.98	224.29
124	81.00	16.98	288.19
125	75.00	22.98	527.91
126	89.00	8.98	80.57
127	91.00	6.98	48.67
128	102.00	4.02	16.19
129	105.00	7.02	49.33
130	118.00	20.02	400.95

131	112.00	14.02	196.67
132	89.00	8.98	80.57
133	76.00	21.98	482.95
134	73.00	24.98	623.81
135	77.00	20.98	440.00
136	112.00	14.02	196.67
137	121.00	23.02	530.10
138	130.00	32.02	1025.52
139	110.00	12.02	144.57
140	109.00	11.02	121.52
141	106.00	8.02	64.38
142	98.00	0.02	0.00
143	72.00	25.98	674.76
144	116.00	18.02	324.86
145	117.00	19.02	361.91
146	124.00	26.02	677.24
147	128.00	30.02	901.43
148	131.00	33.02	1090.57
149	81.00	16.98	288.19
150	73.00	24.98	623.81
151	63.00	34.98	1223.33
152	91.00	6.98	48.67
153	93.00	4.98	24.76
154	104.00	6.02	36.29
155	140.00	42.02	1766.00
156	145.00	47.02	2211.24
157	106.00	8.02	64.38
158	98.00	0.02	0.00
159	74.00	23.98	574.86
160	74.00	23.98	574.86
161	61.00	36.98	1367.24
162	80.00	17.98	323.14
163	104.00	6.02	36.29
164	110.00	12.02	144.57
165	133.00	35.02	1226.67
166	75.00	22.98	527.91
167	74.00	23.98	574.86
168	66.00	31.98	1022.48
PROMEDIO	97.98	3454.05	94871.90
		SUMATORIA	SUMATORIA

Procedemos con el cálculo de los demás indicadores de eficiencia del riego:

1. ***Coficiente de variación de descarga de Santa Bárbara:*** posteriormente, a partir de los datos recolectados en la segunda evaluación de campo efectuada en Santa Bárbara tras la implementación de la mejora operativa consistente en el reemplazo de los aspersores VYR 66 por el modelo AKONA KA – 30, se procedió a determinar el coeficiente de variación de descarga del sistema.

Para el cálculo de este punto se usó la fórmula 2. Ecuación para hallar el Coeficiente de Variación de Descarga (CVD):

$$CVD = \frac{\sigma}{\bar{X}} \times 100 \dots\dots (2)$$

$\bar{X}$: promedio de las lecturas

σ : des. est. lecturas de lámina de riego

$$n = 168$$

$$\bar{X} = 98.05$$

$$\sum |X_i - \bar{X}|^2 = 94,934.37$$

$$Varianza = \frac{\sum |X_i - \bar{X}|^2}{n} = \frac{94,934.37}{168} = 565.09$$

Desviación Estándar:

$$\sigma = \sqrt{Varianza} \rightarrow \sigma = \sqrt{565.09} = 23.77$$

Coeficiente de variación de descarga:

$$CVD = \frac{\sigma}{\bar{X}} \times 100 \rightarrow CVD = \frac{23.77}{98.05} \times 100 = \mathbf{24.24\%}$$

2. ***Coefficiente de Distribución de Santa Bárbara:*** a partir de los registros obtenidos en la segunda evaluación de campo en Santa Bárbara ejecutada tras implementar la mejora operativa consistente en el reemplazo de los aspersores VYR 66 por el modelo AKONA KA – 30, cuyos datos detallados se presentan en los ANEXOS B, se procedió a determinar el coeficiente de distribución. Metodológicamente, este cálculo se basó en la extracción y promediación del cuartil inferior (25% de los valores menores) del total de las lecturas recolectadas.

Para el cálculo de este punto se usó la fórmula 3. Ecuación para hallar el Coeficiente de Distribución (CD):

$$CD = \frac{X_{25\%}}{\bar{X}} \times 100 \quad \dots\dots (3)$$

$\bar{X}$: promedio de las lecturas

$X_{25\%}$: prom. De 25% de men. Lecturas de láminas de riego

$$n = 168$$

$$25\% n = 42 \text{ datos}$$

$$CD = \frac{X_{25\%}}{\bar{X}} \times 100 \rightarrow CD = \frac{68.76}{98.05} \times 100 = 70.13\%$$

3. ***Índice de Desempeño del Sistema:*** con base en la información recopilada durante el segundo ensayo en Santa Bárbara, desarrollado posterior a la sustitución de los emisores VYR 66 por los aspersores AKONA KA – 30, se calculó este parámetro de rendimiento. Este resultado constituye un elemento clave para cuantificar el comportamiento del sistema y corroborar la correcta integración y funcionalidad de sus componentes en campo.

Para el cálculo de este punto se usó la fórmula 4. Ecuación para hallar el Índice de Desempeño del Sistema (IDS):

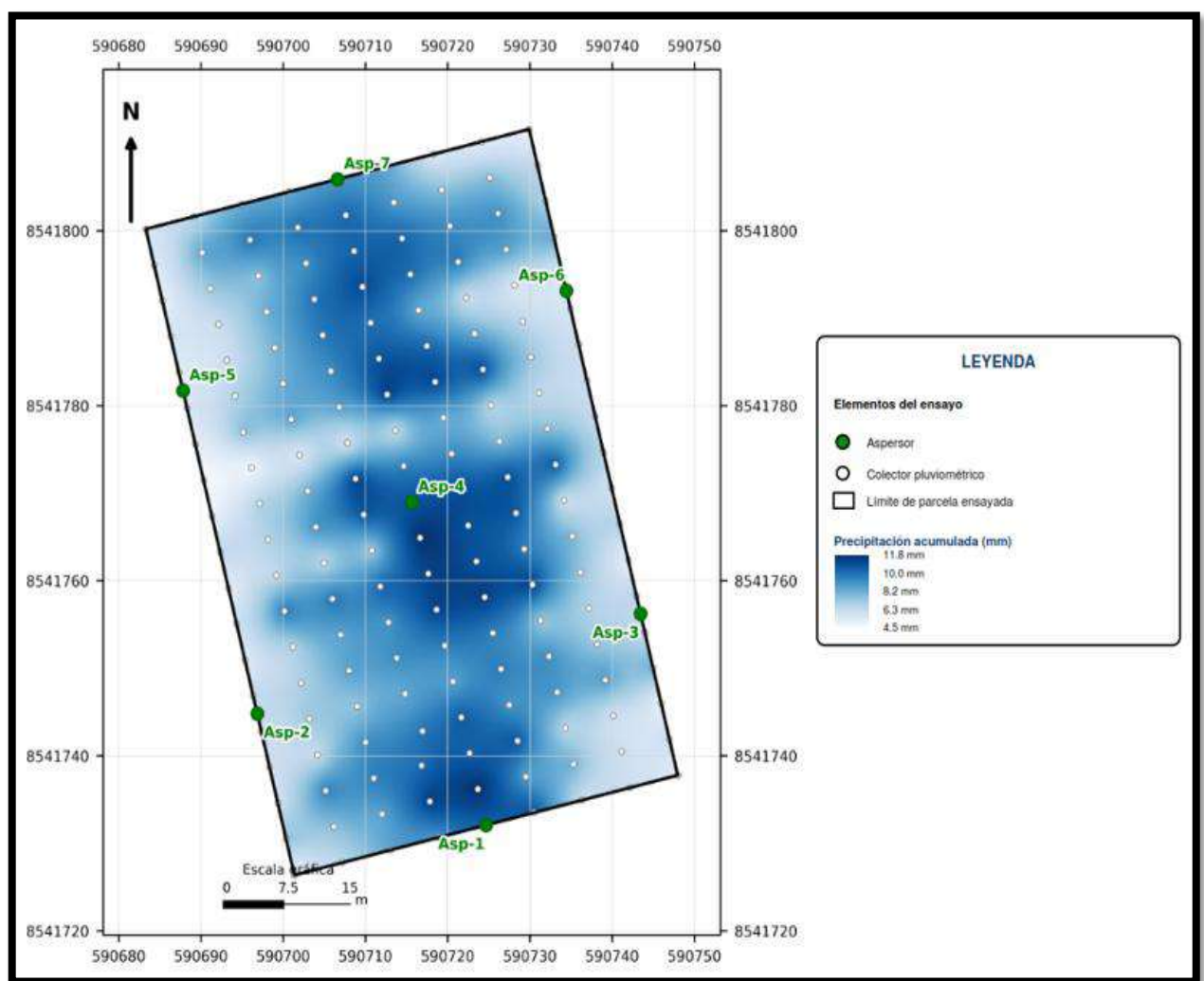
$$IDS = CUC \times CD \dots\dots (4)$$

$$IDS = 0.79 \times 0.7013$$

$$IDS = \mathbf{55.40\%}$$

Figura 22.

Mapa de distribución de la precipitación en el área de Santa Bárbara(adicional).



Visualizando la Figura 22., podemos entender de manera gráfica la distribución de las zonas con más húmedas de las con menos húmedas entendiendo la uniformidad del riego.

C. Comité de riego de Acosvinchos:

- Acosvinchos:

- **Prueba de Christiansen:** tras la ejecución de un segundo ensayo en campo en la localidad de Acosvinchos, implementada tras incorporar la mejora operativa consistente en el reemplazo de los aspersores NAANDANJAIN 5022 SD-U por el AKONA KA – 30, se procedió al cálculo del coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC). Metodológicamente, se determinó inicialmente el promedio de las lecturas pluviométricas y la respectiva varianza de los datos en relación con dicha media.

Para la realización de este cálculo se usó la formula (1). Ecuación para hallar el Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (CUC):

$$CUC = \left(1 - \frac{\sum |X_i - \bar{X}|}{n * \bar{X}} \right) \times 100 \dots \dots (1)$$

$\bar{X}$: promedio de las lecturas

X_i : valor de lectura i

n : número de lecturas

$$n = 130$$

$$\bar{X} = 107.42$$

$$\sum |X_i - \bar{X}| = 2,122.62$$

$$n \times \bar{X} = 13,964.60$$

$$CUC = \left(1 - \frac{\sum |X_i - \bar{X}|}{n * \bar{X}} \right) \times 100$$

$$CUC = \left(1 - \frac{2,122.62}{13,964.60} \right) \times 100$$

$$CUC = (1 - 0.152) \times 100$$

$$CUC = 100 \times 0.848 = \mathbf{84.80\%}$$

Tabla 37.

Análisis estadístico de los datos de Acosvinchos(adicional).

N° de pluviómetro	Cantidad de agua (ml)	Varianza	
		[Xi - X]	[Xi - X]^2
1	60.00	47.42	2248.95
2	105.00	2.42	5.87
3	130.00	22.58	509.72
4	135.00	27.58	760.49
5	135.00	27.58	760.49
6	135.00	27.58	760.49
7	130.00	22.58	509.72
8	115.00	7.58	57.41
9	110.00	2.58	6.64
10	105.00	2.42	5.87
11	105.00	2.42	5.87
12	110.00	2.58	6.64
13	115.00	7.58	57.41
14	135.00	27.58	760.49
15	135.00	27.58	760.49
16	135.00	27.58	760.49
17	115.00	7.58	57.41
18	105.00	2.42	5.87
19	105.00	2.42	5.87
20	60.00	47.42	2248.95
21	60.00	47.42	2248.95
22	105.00	2.42	5.87
23	105.00	2.42	5.87
24	110.00	2.58	6.64
25	135.00	27.58	760.49
26	115.00	7.58	57.41
27	115.00	7.58	57.41
28	110.00	2.58	6.64
29	105.00	2.42	5.87
30	60.00	47.42	2248.95
31	60.00	47.42	2248.95
32	105.00	2.42	5.87
33	105.00	2.42	5.87
34	135.00	27.58	760.49
35	135.00	27.58	760.49
36	135.00	27.58	760.49
37	135.00	27.58	760.49
38	110.00	2.58	6.64
39	110.00	2.58	6.64
40	105.00	2.42	5.87
41	105.00	2.42	5.87
42	110.00	2.58	6.64
43	115.00	7.58	57.41
44	135.00	27.58	760.49
45	135.00	27.58	760.49
46	135.00	27.58	760.49
47	135.00	27.58	760.49
48	130.00	22.58	509.72
49	130.00	22.58	509.72
50	120.00	12.58	158.18
51	110.00	2.58	6.64
52	110.00	2.58	6.64
53	115.00	7.58	57.41
54	130.00	22.58	509.72
55	135.00	27.58	760.49
56	115.00	7.58	57.41
57	115.00	7.58	57.41
58	105.00	2.42	5.87
59	105.00	2.42	5.87
60	60.00	47.42	2248.95
61	60.00	47.42	2248.95
62	60.00	47.42	2248.95
63	60.00	47.42	2248.95
64	110.00	2.58	6.64
65	115.00	7.58	57.41
66	115.00	7.58	57.41
67	115.00	7.58	57.41
68	110.00	2.58	6.64
69	105.00	2.42	5.87
70	105.00	2.42	5.87
71	60.00	47.42	2248.95
72	60.00	47.42	2248.95
73	105.00	2.42	5.87
74	120.00	12.58	158.18
75	135.00	27.58	760.49
76	115.00	7.58	57.41
77	115.00	7.58	57.41
78	115.00	7.58	57.41
79	110.00	2.58	6.64
80	60.00	47.42	2248.95
81	60.00	47.42	2248.95
82	60.00	47.42	2248.95
83	105.00	2.42	5.87
84	115.00	7.58	57.41
85	120.00	12.58	158.18
86	110.00	2.58	6.64
87	110.00	2.58	6.64
88	105.00	2.42	5.87
89	60.00	47.42	2248.95
90	60.00	47.42	2248.95
91	60.00	47.42	2248.95
92	105.00	2.42	5.87
93	115.00	7.58	57.41
94	115.00	7.58	57.41
95	120.00	12.58	158.18
96	135.00	27.58	760.49
97	115.00	7.58	57.41
98	110.00	2.58	6.64
99	105.00	2.42	5.87
100	105.00	2.42	5.87
101	60.00	47.42	2248.95
102	105.00	2.42	5.87
103	110.00	2.58	6.64
104	115.00	7.58	57.41
105	135.00	27.58	760.49
106	115.00	7.58	57.41
107	115.00	7.58	57.41
108	110.00	2.58	6.64
109	105.00	2.42	5.87
110	60.00	47.42	2248.95
111	60.00	47.42	2248.95
112	105.00	2.42	5.87
113	110.00	2.58	6.64
114	115.00	7.58	57.41
115	115.00	7.58	57.41
116	120.00	12.58	158.18
117	115.00	7.58	57.41
118	115.00	7.58	57.41
119	110.00	2.58	6.64
120	105.00	2.42	5.87
121	105.00	2.42	5.87
122	110.00	2.58	6.64
123	110.00	2.58	6.64
124	115.00	7.58	57.41
125	130.00	22.58	509.72
126	135.00	27.58	760.49
127	130.00	22.58	509.72
128	130.00	22.58	509.72
129	115.00	7.58	57.41
130	60.00	47.42	2248.95
PROMEDIO	107.42	2122.62	69211.73
		SUMATORIA	SUMATORIA

Procedemos con el cálculo de los demás indicadores de eficiencia del riego:

1. **Coefficiente de variación de descarga de Acosvinchos:** posteriormente, a partir de los datos recolectados en la segunda evaluación de campo efectuada en Acosvinchos tras la implementación de la mejora operativa consistente en el reemplazo de los aspersores NAANDANJAIN 5022 SD-U por el modelo AKONA KA – 30, se procedió a determinar el coeficiente de variación de descarga del sistema.

Para el cálculo de este punto se usó la fórmula 2. Ecuación para hallar el Coeficiente de Variación de Descarga (CVD):

$$CVD = \frac{\sigma}{\bar{X}} \times 100 \dots\dots (2)$$

$\bar{X}$: promedio de las lecturas

σ : des. est. lecturas de lámina de riego

$$n = 130$$

$$\bar{X} = 107.42$$

$$\sum |X_i - \bar{X}|^2 = 69,211.73$$

$$Varianza = \frac{\sum |X_i - \bar{X}|^2}{n} = \frac{69,211.73}{130} = 532.40$$

Desviación Estándar:

$$\sigma = \sqrt{Varianza} \rightarrow \sigma = \sqrt{532.40} = 23.07$$

Coefficiente de variación de descarga:

$$CVD = \frac{\sigma}{\bar{X}} \times 100 \rightarrow CVD = \frac{23.07}{107.42} \times 100 = \mathbf{21.48\%}$$

2. ***Coefficiente de Distribución de Acosvinchos:*** a partir de los registros obtenidos en la segunda evaluación de campo en Acosvinchos ejecutada tras implementar la mejora operativa consistente en el reemplazo de los aspersores NAANDANJAIN 5022 SD-U por el modelo AKONA KA – 30, cuyos datos detallados se presentan en los ANEXOS B, se procedió a determinar el coeficiente de distribución. Metodológicamente, este cálculo se basó en la extracción y promediación del cuartil inferior (25% de los valores menores) del total de las lecturas recolectadas.

Para el cálculo de este punto se usó la fórmula 3. Ecuación para hallar el Coeficiente de Distribución (CD):

$$CD = \frac{X_{25\%}}{\bar{X}} \times 100 \quad \dots\dots (3)$$

$\bar{X}$: promedio de las lecturas

$X_{25\%}$: prom. De 25% de men. Lecturas de láminas de riego

$$n = 130$$

$$25\% n = 33 \text{ datos}$$

$$CD = \frac{X_{25\%}}{\bar{X}} \times 100 \rightarrow CD = \frac{76.36}{107.42} \times 100 = 79.09\%$$

3. ***Índice de Desempeño del Sistema:*** con base en la información recopilada durante el segundo ensayo en Acosvinchos, desarrollado posterior a la sustitución de los emisores VYR 66 por los aspersores AKONA KA – 30, se calculó este parámetro de rendimiento. Este resultado constituye un elemento clave para cuantificar el comportamiento del sistema y

corroborar la correcta integración y funcionalidad de sus componentes en campo.

Para el cálculo de este punto se usó la fórmula 4. Ecuación para hallar el Índice de Desempeño del Sistema (IDS):

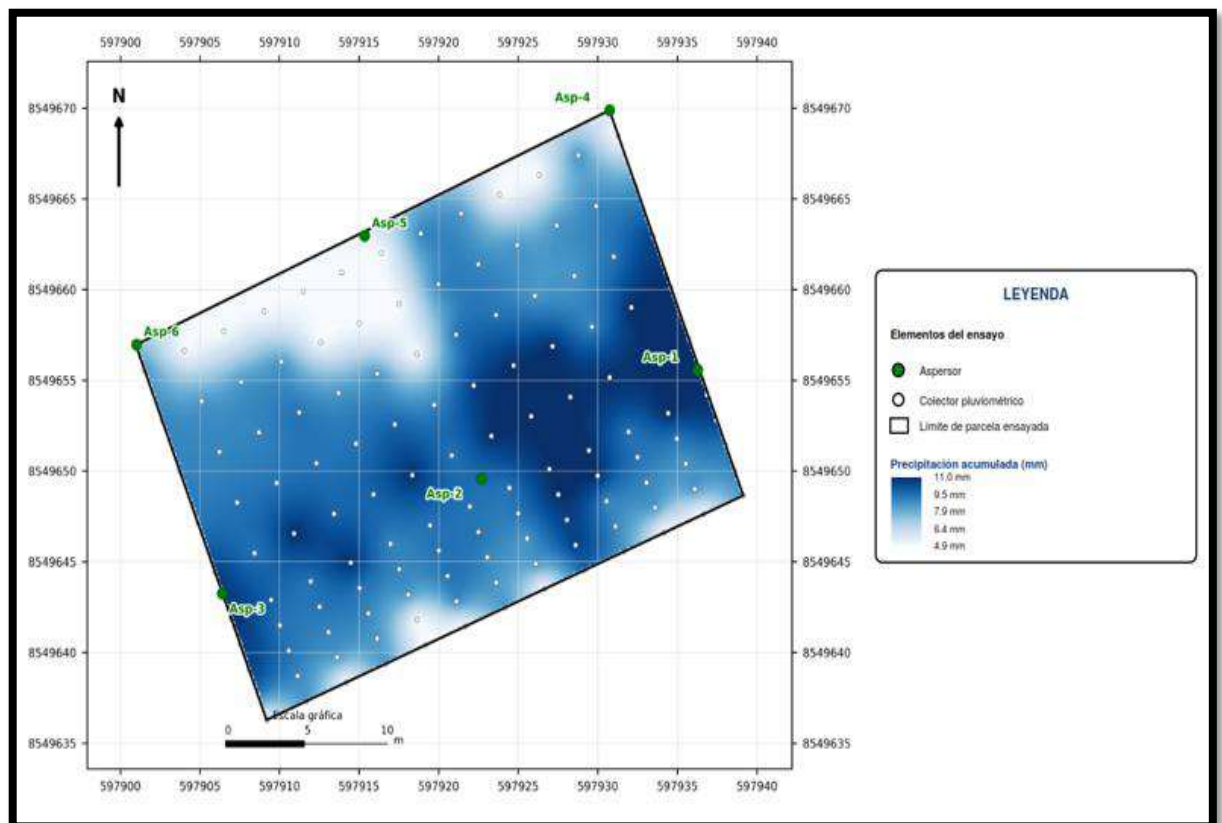
$$IDS = CUC \times CD \dots\dots (4)$$

$$IDS = 0.848 \times 0.7909$$

$$IDS = 67.07\%$$

Figura 23.

Mapa de distribución de la precipitación en el área de Acosvinchos(adicional).



Visualizando la Figura 23., podemos entender de manera gráfica la distribución de las zonas con más húmedas de las con menos húmedas entendiendo la uniformidad del riego.

Tabla 38.

Cuadro comparativo de valores CUC.

Comité de riego	Valor de CUC	Valor de CUC mejorado
Casaorcco	77%	82.3%
Santa Bárbara	71%	79%
Acosvinchos	78%	84.8%

Observando los valores obtenidos pasamos a realizar nuevamente su clasificación del valor de CUC según los diferentes autores.

- Casaorcco

CUC ($\geq 85\%$)	82.30%
---------------------	--------

♠ Según Merriam y Keller:

Valor del coeficiente de uniformidad (CU)	Calificación del desempeño operativo	Implicancia práctica en el riego por aspersión
$75\% \leq CU < 85\%$	Bueno	Rango aceptable en la mayoría de proyectos agrícolas tecnificados comerciales.

♠ Según Pizarro Cabello:

Rango de uniformidad (%)	Calificación del sistema	Criterio de operación e implicancias agronómicas
80% - 90%	Bueno	Nivel esperado en instalaciones modernas bien proyectadas y mantenidas. Las pérdidas por percolación profunda y el déficit son mínimos.

♠ Según ASAE:

Rango del coeficiente de uniformidad (%)	Categoría de desempeño (ASAE)	Descripción técnica y aplicación
80% - 84%	Bueno	Considerado el estándar mínimo deseable para proyectos de inversión pública o privada en riego presurizado comercial.

- Santa Bárbara

CUC ($\geq 85\%$)	79.00%
---------------------	--------

♠ Según Merriam y Keller:

Valor del coeficiente de uniformidad (CU)	Calificación del desempeño operativo	Implicancia práctica en el riego por aspersión
$75\% \leq CU < 85\%$	Bueno	Rango aceptable en la mayoría de proyectos agrícolas tecnificados comerciales.

♠ Según Pizarro Cabello:

Rango de uniformidad (%)	Calificación del sistema	Criterio de operación e implicancias agronómicas
80% - 90%	Bueno	Nivel esperado en instalaciones modernas bien proyectadas y mantenidas. Las pérdidas por percolación profunda y el déficit son mínimos.

♠ Según ASAE:

Rango del coeficiente de uniformidad (%)	Categoría de desempeño (ASAE)	Descripción técnica y aplicación
80% - 84%	Bueno	Considerado el estándar mínimo deseable para proyectos de inversión pública o privada en riego presurizado comercial.

- Acosvinchos

CUC ($\geq 85\%$)	84.80%
---------------------	--------

♠ Según Merriam y Keller:

Valor del coeficiente de uniformidad (CU)	Calificación del desempeño operativo	Implicancia práctica en el riego por aspersión
$75\% \leq CU < 85\%$	Bueno	Rango aceptable en la mayoría de proyectos agrícolas tecnificados comerciales.

♠ **Según Pizarro Cabello:**

Rango de uniformidad (%)	Calificación del sistema	Criterio de operación e implicancias agronómicas
80% - 90%	Bueno	Nivel esperado en instalaciones modernas bien proyectadas y mantenidas. Las pérdidas por percolación profunda y el déficit son mínimos.

♠ **Según ASAE:**

Rango del coeficiente de uniformidad (%)	Categoría de desempeño (ASAE)	Descripción técnica y aplicación
80% - 84%	Bueno	Considerado el estándar mínimo deseable para proyectos de inversión pública o privada en riego presurizado comercial.

Propuesta de mejoras para cada comité de riego:

Tras el diagnóstico de los sistemas de riego en cada comité, se identificaron las principales problemáticas operativas que inciden directamente en el funcionamiento del riego por aspersión y en la uniformidad de la aplicación del agua. En consecuencia, se plantean propuestas técnicas orientadas a optimizar dichos coeficientes de uniformidad.

❖ **Casaorcco:** durante la evaluación técnica de este comité de riego, se constató el uso de aspersores modelo Senninger 7025, los cuales presentan un alto radio de alcance y una mayor cobertura espacial. No obstante, a pesar de su alta capacidad operativa, dichos emisores no logran alcanzar los estándares esperados de uniformidad de distribución. Por consiguiente, se plantean las siguientes alternativas de mejora:

- **Inspección detallada de los emisores:** en el sistema de riego por aspersión de Casaorcco, se recomienda ejecutar labores de

mantenimiento preventivo como la limpieza integral de los aspersores y, de ser necesario, la sustitución de aquellos componentes que presenten anomalías en su velocidad de rotación. Tras la implementación del cambio de emisores, es indispensable establecer un programa de inspecciones periódicas enfocado en verificar el estado físico de las boquillas y la integridad del mecanismo de rotación, debido a que el desgaste progresivo amplía el diámetro de salida y distorsiona el patrón de distribución espacial del agua.

- ***Optimización del sistema de válvulas sectoriales:*** es fundamental garantizar una adecuada distribución del caudal y presión en cada sector del sistema. Se sugiere realizar la instalación o mejora de las válvulas hidráulicas que permitan el control más preciso del caudal suministrado, de esta manera reduciendo las pérdidas de carga y estabilidad de presión en los laterales. Esta medida promoverá a la disminución del coeficiente de variación de descarga (CVD), el cual actualmente es elevado.
- ***Mantenimiento y limpieza sistemática de canales y tuberías:*** es recomendable realizar una limpieza semestral de canales y tuberías de conducción, debido a que esta actividad solo es realizada dentro de cada inicio de temporada cuando se usara el sistema. El objetivo de esta actividad es poder eliminar sedimentos y obstrucciones que provocan pérdidas de presión y caudal. La acumulación de material particulado en el sistema es una de las causas principales para el bajo desempeño del sistema (IDS = 47.74%). Realizar este mantenimiento

preventivo permitirá restablecer las condiciones hidráulicas óptimas para una distribución eficiente del agua.

- ***Instalación de válvulas de purga y válvulas de aire:*** se recomienda realizar la instalación de válvulas de purga en las zonas bajas del sistema y las válvulas de aire deben ser puestos en los puntos altos del sistema. Estas sugerencias son debido a que las válvulas de purga logran facilitar la eliminación de sedimentos acumulados, mientras que las válvulas de aire permitirán poder liberar el aire atrapado mediante esto evitar los golpes de ariete y fluctuaciones de presión que afectan la uniformidad. Poniendo estos dos tipos de válvulas se podrá incrementar la estabilidad hidráulica del sistema y prolongará su vida útil.
- ***Implementación de una programación de riego inteligente:*** se recomienda la opción de adoptar un sistema de programación de riego basado en parámetros climáticos y requerimientos hídricos específicos del cultivo. Mediante el uso de sensores de humedad del suelo y pronósticos meteorológicos, se podrá ajustar la frecuencia y duración del riego de acuerdo a las necesidades reales del cultivo para evitar el exceso o déficit de agua. Esta mejora podrá permitir que el uso del agua sea más óptimo, mejorando simultáneamente esto podrá aumentar la eficiencia global del sistema.

❖ **Manzanayocc:** en este comité de riego se logró visualizar un funcionamiento y distribución más alto entre todas las pruebas realizadas en campo; aunque eso no quita que se pueda mejorar de cierta manera:

- ***Inspección técnica de aspersores y boquillas:*** durante la evaluación en campo se constató que los aspersores permanecen expuestos a condiciones prolongadas de radiación solar, lo cual acelera el desgaste de las boquillas y altera el patrón de distribución del agua. Esta condición representa una de las principales causas de pérdida de uniformidad en el riego por aspersión. Por ello, se recomienda implementar un plan de mantenimiento preventivo trimestral, lo cual incluirá la inspección, limpieza y sustitución oportuna de boquillas desgastadas. Además, se sugiere resguardar los equipos cuando no estén en operación para reducir el deterioro por exposición ambiental.
- ***Instalación de reguladores de presión:*** se identificaron variaciones significativas de presión en las líneas laterales del sistema. Para corregir esta deficiencia, se propone la instalación de reguladores de presión en puntos estratégicos, especialmente al inicio de los laterales. Estos dispositivos estabilizan la presión de entrada, garantizando un caudal uniforme hacia los aspersores y evitando daños estructurales derivados de presiones excesivas o fluctuantes. Su implementación permitirá reducir el coeficiente de variación de descarga ($CVD = 23.66\%$) y mejorar la uniformidad de aplicación del sistema.
- ***Mantenimiento integral de la red de tuberías:*** para preservar la eficiencia hidráulica del sistema, se recomienda la instalación de válvulas de purga en los puntos bajos y válvulas de aire en los puntos altos de la red. Las válvulas de purga nos permitirán evacuar sedimentos y partículas sólidas acumuladas, mientras que las válvulas

de aire facilitarán la liberación de aire atrapado, evitando sobrepresiones y golpes de ariete. Estas medidas contribuirán a mantener un flujo constante y estable, fortaleciendo el desempeño general del sistema ($IDS = 58.22\%$).

○ ***Implementación de estructuras de limpieza y retención de sólidos:***

se propone la construcción de desarenadores y la instalación de rejillas de protección adicionales en las entradas y salidas de los reservorios. Estas estructuras permitirán una separación efectiva de sedimentos, arenas y material orgánico que suelen ingresar con el caudal, reduciendo las obstrucciones en los canales y tuberías. Su aplicación mejorará la calidad del agua utilizada y minimizará el desgaste de los componentes hidráulicos.

○ ***Elaboración e instauración de un manual técnico de operación y***

mantenimiento: durante el diagnóstico de campo se evidenció una constatación de rotación del personal responsable de la gestión del sistema, condición que genera ineficiencias operativas por la ausencia de estandarización en los procedimientos. Para mitigar esta problemática, se recomienda que la institución encargada de la formulación del proyecto en coordinación con los dirigentes del comité de riego elabore e instaure formalmente un manual de operación y mantenimiento del sistema de riego. Este documento normativo debe estandarizar los protocolos para la maniobra de válvulas, la inspección de emisores, el lavado de redes y el control de presiones de operación. Asimismo, se sugiere institucionalizar programas de capacitación

periódica dirigidos a los operadores o tomeros encargados, garantizando así la sostenibilidad y eficiencia operativa del sistema a largo plazo.

❖ **Santa Bárbara:** en este comité se visualizó una deficiencia en el mantenimiento del sistema y se halló el menor valor en la uniformidad de distribución del riego; por ende, se realiza las siguientes propuestas de mejora:

- ***Ajuste y estabilización de la presión de funcionamiento de los aspersores:*** el bajo coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC = 71%) evidencia de una deficiente distribución de presiones en la red, con valores excesivos en algunos sectores y reducidos en otros. Esta condición genera desigualdad en el tamaño de gota y alcance del chorro, afectando directamente la uniformidad del riego. Se recomienda la instalación de reguladores de presión en las válvulas sectoriales, junto con la verificación individual de presión en los aspersores mediante manómetros portátiles. Este control permitirá estabilizar la presión operativa dentro del rango óptimo de trabajo, mejorando la uniformidad y reduciendo el coeficiente de variación de descarga (CVD).
- ***Revisión, limpieza y reemplazo de boquillas:*** el desgaste y la obstrucción de las boquillas son factores determinantes en la pérdida de uniformidad, debido a las variaciones en caudal y en el patrón de aspersión. Se propone implementar un programa de mantenimiento preventivo mensual que incluya la limpieza de boquillas con

herramientas adecuadas y el reemplazo inmediato de aquellas que presenten deformaciones o incrustaciones. Con ello se garantizará la estabilidad del caudal de descarga y se incrementará la eficiencia de distribución ($CD = 61.98\%$).

- ***Instalación de válvulas de purga y aire:*** durante la inspección se observó la presencia de daños estructurales en las válvulas sectoriales y vibraciones notorias en las tuberías, las cuales fueron temporalmente corregidas mediante soportes improvisados (troncos). Estas fallas son consecuencia de la acumulación de aire y de sedimentos en la red, que generan presiones negativas o excesivas. Se recomienda instalar válvulas de aire en puntos altos para liberar el aire atrapado. Esta medida reducirá las sobrepresiones internas y prolongará la vida útil del sistema.
- ***Sustitución de componentes defectuosos y reparación de fugas:*** se constató la existencia de mangueras y tramos de tuberías con fugas de agua, lo cual genera pérdidas de presión y caudal, reduciendo el rendimiento hidráulico del sistema ($IDS = 44.02\%$). Se propone la sustitución inmediata de los tramos deteriorados, así como la aplicación de pruebas de estanqueidad periódicas para detectar fugas ocultas. La eliminación de estas deficiencias contribuirá a mantener un flujo constante y una distribución más equilibrada a mantener un flujo constante y una distribución más equilibrada del agua.
- ***Revisión del espaciamiento y disposición de aspersores:*** se identificaron irregularidades en el espaciamiento entre aspersores, lo

que ocasiona zonas con exceso y déficit de riego. Se recomienda rediseñar el patrón de ubicación de los aspersores siguiendo criterios técnicos basados en el radio efectivo de alcance y en la superposición de láminas. La correcta disposición permitirá mejorar la uniformidad del patrón de aplicación y, por ende, incrementar el CUC por encima del 80%.

- ***Implementación de sensores de humedad del suelo y monitoreo inteligente del riego:*** se sugiere la incorporación de sensores de humedad del suelo para medir el contenido volumétrico de agua en tiempo real. Esta información permitirá ajustar las láminas de riego a las necesidades hídricas reales del cultivo, evitando tanto el déficit como el exceso de aplicación. La integración de estos sensores con un sistema de control básico mejorará significativamente la eficiencia del uso del agua y la energía, orientando el sistema hacia una gestión más sostenible.

❖ **Cusibamba:** en este comité se logró visualizar un sistema de riego muy ordenado, eficiente y bien estructurado, viendo que su valor de uniformidad es el segundo más alto. Además, a pesar de tener una buena uniformidad, su estructura podría mejorarse:

- ***Instalar de reguladores de presión para optimizar la distribución hidráulica:*** si bien el coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC = 81%) obtenido en Cusibamba se considera aceptable, es posible mejorar la eficiencia del sistema mediante la estabilización de la presión en las líneas de conducción y distribución. Se recomienda

la instalación de reguladores de presión en las válvulas sectoriales y puntos críticos del sistema, con el fin de garantizar una presión constante y homogénea en todos los sectores de riego. Esta medida reducirá las fluctuaciones de caudal y permitirá alcanzar una distribución más uniforme, mejorando el desempeño global del sistema (IDS = 58.32%).

- ***Verificación del caudal y presión de boquillas de aspersores:*** el desgaste progresivo o la obstrucción de boquillas puede alterar el caudal de descarga y afectar negativamente la uniformidad del riego. Por ello, se sugiere implementar un programa de verificación periódica del caudal y presión en los aspersores, utilizando manómetros portátiles y probetas volumétricas. Este control permitirá detectar variaciones en el caudal individual y realizar la reposición o limpieza inmediata de boquillas defectuosas, manteniendo la eficiencia de aplicación del sistema (CD = 72.32%).
- ***Incorporación de tecnologías de monitoreo y control:*** con el fin de fortalecer la gestión técnica del riego, se propone la implementación progresiva de tecnologías de monitoreo. Inicialmente, se recomienda el uso de manómetros portátiles para el control de presión operativa y, posteriormente, la instalación de sensores de humedad del suelo en puntos representativos del área de riego. Estos sensores permitirán conocer el contenido volumétrico de agua en tiempo real y ajustar la frecuencia y duración del riego a las necesidades hídricas reales del

cultivo. La aplicación de esta tecnología contribuirá al uso racional del recurso hídrico.

- ***Implementación de válvulas de purga y aire:*** la incorporación de válvulas de purga en los puntos bajos de la red permitirá eliminar sedimentos acumulados, mientras que las válvulas de aire instaladas en los puntos altos facilitarán la liberación del aire atrapado dentro del sistema. Estas válvulas deben ser operadas de forma periódica para prevenir la obstrucción de tuberías y las variaciones bruscas de presión. Con ello, se reducirá la posibilidad de fallas estructurales y se incrementará la estabilidad hidráulica, favoreciendo una operación más segura y eficiente.

❖ **Acosvinchos:** en este comité se logró visualizar un sistema de riego un poco desordenado y, además, se visualiza que los sistemas de riego en mayor cantidad son móviles debido a que todas las parcelas cuentan con hidrantes que son conectadas mediante los tubos que llevan a los aspersores. Para este sistema las mejores serían las siguientes:

- **Reemplazo y calibración técnica de boquillas:** se recomienda realizar la medición individual de caudales en los aspersores para verificar el correcto funcionamiento de las boquillas. El caudal medido no debe diferir en más del 5% respecto al valor indicado en la ficha técnica del fabricante. Las boquillas que presenten desgaste, deformación u obstrucción deben ser reemplazadas inmediatamente. Esta acción permitirá reducir la variabilidad de caudal entre aspersores y mejorar el coeficiente de variación de descarga ($CVD = 26.19\%$), elevando así el coeficiente de uniformidad de Christiansen.
- **Ajuste y uniformización de la presión del sistema:** se observó que la presión no se distribuye de manera homogénea en los distintos sectores del sistema, lo que provoca diferencias en el patrón de aspersión y una distribución desigual del agua. Para corregir esta deficiencia, se sugiere la instalación de reguladores de presión en cada sector, o en su defecto, válvulas reductoras en los puntos de mayor presión. Asimismo, se recomienda medir periódicamente la presión en los extremos de las líneas laterales para garantizar una variación máxima del 20% entre aspersores, rango aceptable según la FAO

(1989). La estabilización de la presión permitirá optimizar la eficiencia hidráulica ($IDS = 54.60\%$).

- ***Verificación del espaciamiento y solapamiento entre aspersores:*** se propone realizar un análisis de espaciamiento efectivo entre aspersores, asegurando un traslape de cobertura entre el 55% y 65% del radio de alcance. Este grado de solapamiento permite compensar la disminución de intensidad de precipitación en los bordes del patrón de aspersión, garantizando una aplicación más uniforme. El espaciamiento deberá mantenerse constante en toda la parcela, ya que la irregularidad en la disposición de los aspersores genera sectores con exceso o déficit de riego, afectando el valor del CUC.
- ***Implementación de medidas de monitoreo y control:*** se recomienda la incorporación de manómetros portátiles para el control diario de presión y la realización de pruebas periódicas del coeficiente de uniformidad de Christiansen con el fin de monitorear el desempeño operativo del sistema. Complementariamente, se sugiere la instalación de sensores de humedad del suelo en zonas representativas, lo que permitirá ajustar las láminas de riego según las necesidades hídricas del cultivo. Estas herramientas facilitaran una gestión más precisa del agua y una toma de decisiones basada en datos.
- ***Implementación y mantenimiento de válvulas de purga y aire:*** para garantizar la estabilidad hidráulica a largo plazo, se recomienda la instalación y uso rutinario de válvulas de purga y válvulas de aire. Las primeras deben ubicarse en los puntos bajos de la red para facilitar la

eliminación de sedimentos, mientras que las válvulas de aire deben situarse en los puntos altos para evacuar el aire atrapado, evitando sobrepresiones o vacíos hidráulicos. El uso regular de estos dispositivos prevendrá obstrucciones internas y daños estructurales, contribuyendo a una operación más eficiente y segura del sistema.

DISCUSIONES

- El análisis de los resultados revela que el coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC) obtenido en el sistema de riego por aspersión en Casaorcco alcanzó un valor de 77 % el cual se clasifica como regular según criterios de Merriam y Keller. Dicho valor se encuentra por debajo del umbral recomendado ($> 85\%$) para una operación eficiente. Esta merma en la uniformidad de aplicación se atribuye principalmente a factores microclimáticos y operativos adversos, destacando una velocidad promedio de viento de 1.98 m/seg, una altura de montaje de los aspersores superior a la óptima (1.40 m) y un tiempo de rotación prolongado (0.76 rev/min) No obstante, al contrastar el rendimiento con otros estudios desarrollados bajo condiciones topográficas y presiones similares, el CUC de 77% supera los registros documentados en la región de Cusco (45% - 70%), evidenciando un desempeño favorable a pesar de la divergencia en los factores meteorológicos.
- Mencionando acerca del comité de Casaorcco se realizó la evaluación de la uniformidad solamente tomando en cuenta la línea fija de aspersores ubicados en campo, los cuales se encontraban con pedestales de concreto y ubicados de manera uniforme en campo.
- El coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC) determinado para el sistema de riego por aspersión en Manzanayocc fue de 82%, valor clasificado como “muy bueno” según criterios de Merriam y Keller. Aunque este resultado se sitúa ligeramente por debajo del umbral recomendado para sistemas de alta eficiencia ($> 85\%$), se considera satisfactorio para las condiciones edafoclimáticas del área, especialmente ante la inestabilidad de la presión operativa observada durante el

ensayo. Al contrastar estos resultados con los registros obtenidos en la región de Cajamarca, donde se reportan valores entre 66% y 87% bajo condiciones climáticas similares, se infiere la existencia de infraestructuras de riego con una gestión técnica adecuada, capaces de preservar niveles de uniformidad óptimos.

- El impacto negativo de las pendientes pronunciadas (Manzanayocc y Casaorcco); los comités que presentan los desniveles más altos, como Manzanayocc (22.8%) y Casaorcco (10.7%), experimentan fluctuaciones severas de presión hidráulica a lo largo de las líneas de riego. Esta fuerte variación altitudinal dificulta que los emisores descarguen un caudal homogéneo, lo que reduce directamente el coeficiente de uniformidad (CUC) y evidencia la necesidad indispensable de reguladores de presión o de un diseño orientado a contrarrestar la pendiente.
- Para el sistema de riego en Santa Bárbara se registró un CUC del 71%, categorizado como “regular” conforme a los criterios de Merriam y Keller, lo que denota una eficiencia menor al estándar óptimo ($> 85\%$). Las causas fundamentales de esta deficiencia radican en la interferencia de vientos promedios (1.70 m/seg), la altura inadecuada de montaje del aspersor (1.40 m) y baja velocidad de rotación (0.81 rev/min). Adicionalmente, la práctica operativa de adicionar aspersores móviles para contrarrestar la baja uniformidad provocó desuniformidad espacial, evidenciada en sectores con láminas de riego excesivas. Al contrastar este rendimiento con el de las regiones de Cajamarca y Cusco (donde se registran valores críticos de hasta el 66%), se infiere que Santa Bárbara mantiene un desempeño aceptable, aunque recalca la urgencia de implementar mejoras en la gestión operativa y el mantenimiento de la infraestructura.

- Para el sistema de riego en Cusibamba se registró un CUC del 81%, catalogado como “muy bueno” conforme a la escala de Merriam y Keller, aunque inferior al estándar de eficiencia deseado ($> 85\%$). Si bien la operación hidráulica reveló oportunidades de mejora en la red de conducción, el nivel de uniformidad alcanzado demuestra un funcionamiento eficiente y ordenado. Dicho comportamiento se valida mediante la comparación con el ensayo realizado en Chacabamba por la Ing. Lyss Kelly Añanca Huamán, donde se reportó un CUC del 82.77%. De este modo, se ratifica que Cusibamba presenta uno de los desempeños más sobresalientes dentro del alcance de este estudio.
- El coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC) determinado en el sistema de riego por aspersión de Acosvinchos fue del 78%, valor clasificado como “regular” según los criterios de Merriam y Keller, situándose por debajo del umbral recomendado ($> 85\%$) para sistemas de alta eficiencia. Esta deficiencia responde principalmente a problemas de inestabilidad hidráulica, originados por pérdidas de carga y fugas en las líneas de conducción, lo cual genera una distribución irregular de las presiones de operación en las parcelas.
- El comportamiento en topografías planas y moderadas (Cusibamba, Acosvinchos y Santa Bárbara); en el extremo opuesto, sectores como Cusibamba (1.4%), junto con Acosvinchos (7.7%) y Santa Bárbara (7.35%), muestran una menor alteración de presiones debido a su relieve plano o moderado. La baja pendiente en Cusibamba favorece teóricamente la estabilidad en la distribución del caudal, mientras que en los comités de desniveles intermedios la uniformidad del CUC depende fundamentalmente de una correcta sectorización y longitud de las tuberías laterales para evitar déficits hídricos.

- Según los resultados de los valores de Coeficiente de Variación de Descarga (CVD) en todas las zonas se observa que es deficiente muy a pesar de tener un valor de CUC aceptable; esto es debido a la falta de presión uniforme en las diferentes zonas en Casaorcco el aumento de aspersores en pequeñas zonas por parte de los mismos agricultores variando los valores de presión con los que fueron diseñados, además de la falta de mantenimiento de la estructura de riego. En Manzanayocc también ocurre algo parecido con problemas en la presión de trabajo y falta de mantenimiento. Santa Bárbara es la zona que está afectada por la pérdida de presión debido a rupturas en los tubos de transporte dejando zonas inundadas y otras semi secas. Cusibamba ocurre algo un poco diferente debido a que se observó un buen sistema de riego, pero con algunos problemas en la presión esto debe ser por la falta de mantenimiento en los sistemas de conducción. En Acosvinchos también se pudo observar muchos deterioros en las mangueras de conducción que en partes del proyecto había fugas de presión o enmendaduras de los tubos con bandas elásticas.
- Según los datos de velocidad del viento en cada una de las zonas donde se realizó la prueba se observaron distintos comportamientos de los vientos. En Casaorcco se tuvo una variación algo drástica de la velocidad del viento con momentos de paso de un viento suave a uno fuerte en minutos; en Manzanayocc también se observó lo mismo velocidades picos del viento por momentos bajo y luego alto; en Santa Barbara los vientos fueron igual de variables pero de un menor grado; en Cusibamba al tratarse de una zona de mayor altitud se observaron valores altos de velocidades de viento pero con duración un poco más prolongada que las otras zonas esto debido a que era una zona casi plana; y por último, en Acosvinchos los

valores de los vientos no fueron altos pero esto debido a que la zona donde se realizó la prueba tenía barreras vivas altas por ende el paso del viento fue mucho menor que las otras.

CONCLUSIONES

1. Finalmente podemos concluir que se cumplió de manera adecuada el objetivo principal que es la evaluación experimental del coeficiente de uniformidad de Christiansen en sistemas de riego por aspersión operativos dentro de cinco comités de riego de la provincia de Huamanga; obteniendo resultados tanto positivos como negativos y de todos los lugares evaluados tenemos que Manzanayocc y Cusibamba 82% y 81% respectivamente, por ello, son las zonas con mayor CUC mientras que Casaorcco, Santa Bárbara y Acosvinchos resultaron con valores bajos de CUC con 77%, 71% y 78% respectivamente dando a entender la ineficiencia del sistema de riego que poseen.
2. En resumen, se pudo comprender el funcionamiento del sistema y conocer las componentes constituidas dentro de los sistemas de riego en cada uno de los comités de riego; aunque en muchos de ellos simplemente no había un mantenimiento adecuado de todas las estructuras y componentes. En un comité se logró visualizar que las conexiones visualizadas en sectores se encontraban con elementos ajenos que apoyaban su funcionamiento debido a que la estructura sufría de impactos fuertes de presión.
3. Por consiguiente, se logró realizar los cálculos de CUC en cada comité de riego por ende se corrobora sus valores mediante cálculos matemáticos y posteriormente se realiza la comparativa en valor porcentual para poder definirlos en orden de jerarquía, finalmente se realizó una explicación circunstancial sobre los antecedentes para dichos valores obtenidos dentro de cada comité. Los cuales fueron los siguientes resultados; el CUC (coeficiente de uniformidad de Christiansen) de Casaorcco es 77%, el CUC de Manzanayocc es 82%, el CUC de

Santa Bárbara es 71%, el CUC de Cusibamba es 81% y el CUC de Acosvinchos es 78%. Por otro lado, el CVD (coeficiente de variación de descarga) de Casaorcco es 27.75%, el CVD de Manzanayocc es 23.66%, el CVD de Santa Bárbara es 50.17%, el CVD de Cusibamba es 26.06% y el CVD de Acosvinchos es 26.19%. Ahora resaltamos el siguiente resultado; el CD (coeficiente de distribución) de Casaorcco es 61.61%, el CD de Manzanayocc es 70.55%, el CD de Santa Bárbara es 61.98%, el CD de Cusibamba es 72.32% y el CD de Acosvinchos es 70.39%. Finalmente, los últimos resultados calculados son el Índice de Desempeño del Sistema (IDS) los cuales son los siguientes: el IDS de Casaorcco es 47.74%, el IDS de Manzanayocc es 58.22%, el IDS de Santa Bárbara es 44.02%, el IDS de Cusibamba es 58.32% y el IDS de Acosvinchos es 54.60%.

4. A modo de cierre, también se realizó la evaluación del CUC mediante la recomendación de un aspersor (AKONA KA – 30) con el cual se observó mejor valor de CUC en la zona de Cusibamba, por ende, se pasó a corroborar si dicho aspersor podía obtener mejores resultados en otras zonas obteniendo los siguientes valores: en Casaorcco se obtuvo un valor de 82.3% que es mucho mejor al valor de 77% que se tenía en un inicio, en la zona de Santa Bárbara también se mejoró el CUC con un valor de 79% que es mayor al 71% obtenido al inicio y finalmente en la zona de Acosvinchos se obtuvo un valor de 84.8% frente al 78% que se tenía en la primera prueba. Por ende, se puede concluir que el aspersor AKONA KA – 30 tiene un mejor y eficaz funcionamiento durante el proceso de riego; aunque eso también puede significar que los aspersores encontrados en campo ya están deteriorados o con fallas en su funcionamiento.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda al comité de riego institucionalizar la ejecución obligatoria de visitas de inspección técnica in situ previas a cualquier intervención operativa o mantenimiento mayor. Estas visitas deberán contemplar un reconocimiento detallado de la infraestructura hidráulica para catastrar la ubicación espacial, altimétrica y estado operativo de los componentes de la red (válvulas, emisores y accesorios), permitiendo a los operadores gestionar la infraestructura bajo un diagnóstico preciso y actualizado.
2. Se recomienda incorporar plataformas y tecnologías de adquisición de datos de alta precisión tales como sistemas de telemetría, estaciones meteorológicas automatizadas y software de modelamiento hidráulico para complementar futuras investigaciones. Esto permitirá realizar análisis multivariantes más profundos sobre el comportamiento hídrico y energético de la red de riego, elevando el rigor metodológico y la exactitud en la evaluación del desempeño de los sistemas presurizados.
3. Se recomienda estructurar un registro sistemático de las limitaciones técnicas, logísticas y ambientales identificadas durante las fases de campo. Esta documentación debe constituir una base de referencia crítica para optimizar la planificación, el diseño metodológico y la mitigación de riesgos en futuras investigaciones orientadas a la evaluación de sistemas de riego.
4. Se recomienda ampliar el marco de estudio incorporando una mayor diversidad de sistemas de riego presurizado bajo diferentes contextos fisiográficos, agroclimáticos y modelos de gestión organizacional. Esto

permitirá desarrollar análisis estadísticos comparativos robustos y establecer correlaciones tipológicas sobre el desempeño hidráulico frente a distintas realidades socio técnicas.

5. Se recomienda ejecutar evaluaciones dinámicas del CUC a lo largo de las distintas compañías agrícolas y regímenes estacionales. Este seguimiento longitudinal permitirá cuantificar la variabilidad espacio temporal del desempeño hidráulico frente a fluctuaciones microclimáticas tales como gradientes térmicos, perfiles higrométricos y regímenes anemométricos (velocidad y dirección del viento), consolidando una base de datos representativa para la gestión adaptativa del sistema de riego.
6. Se recomienda incorporar un enfoque metodológico multisistémico que combine la evaluación hidrodinámica tradicional basada en el coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC) y la distribución de presiones con técnicas avanzadas de caracterización complementaria, tales como termografía infrarroja para la detección de anomalías térmicas en tuberías y emisores, ensayos de trazadores químicos o aforos volumétricos de alta precisión en cabecera y cola de parcela. Esta triangulación metodológica permitirá obtener un diagnóstico integral y de alta resolución sobre el estado operativo, las pérdidas energéticas y la eficiencia global de la infraestructura de riego.
7. Se recomienda establecer convenios de cooperación interinstitucional entre los comités de riego, las juntas de usuarios y las entidades gubernamentales competentes tales como la Autoridad Nacional del Agua (ANA) o las agencias agrarias locales. Esta sinergia multisectorial facilitará la

consolidación de un sistema centralizado de información hidroagrícola, optimizando el acceso a registros meteorológicos, catastros hídricos y bases de datos actualizadas que fortalezcan la planificación técnica y la toma de decisiones en la gestión de los recursos hídricos.

Referencias Bibliográficas

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). *FAO Irrigation and Drainage Paper 56: Crop Evapotranspiration*. Roma: FAO.
- American Society of Agricultural Engineers. (1985). *Procedure for sprinkler distribution testing for research*. Michigan: ASAE.
- Añanca Huaman, L. K. (2024). *Evaluación de coeficiente de uniformidad de sistema de riego por aspersión en el cultivo de arveja (*Pisum sativum* L.) en Chacabamba a 2955 msnm - Ayacucho*. AYACUCHO: UNSCH.
- Barberena, Í., Campo Bescós, M. Á., & Casalí, J. (2022). Extended assessment of sprinkler irrigation uniformity in greenhouses using GIS and hydraulic modeling. *MDPI*.
- Barboza Blanco, J. J., & Mijahuanca Chuquillanque, J. (2022). *Evaluación del Coeficiente de Uniformidad y Eficiencia de Aplicación del sistema de riego por aspersión Veras - Sector Yerba Buena - Cajamarca*. Lambayeque: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- Burt, C. M., Clemmens, A. J., Strelkoff, T. S., Howell, T. A., Hiller, J. E., & Solomon, K. H. (1997). Irrigation performance measures: Efficiency and uniformity. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 423-442.
- Cahua Villasante, D. A. (2020). *Evaluación del sistema de riego por aspersión Huancasayani Ñacoreque y su relación producción agrícola en Cuyocuyo - Sandia*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Castañón, G. (2000). *Ingeniería del riego. Utilización racional del agua*. España: Paraninfo Thomson Learning.
- Christiansen, J. E. (1942). *Irrigation by sprinkling*. California: California Agricultural Experiment Station.
- De la Cruz Janampa, M. (2015). *Evaluación del coeficiente de uniformidad y eficiencia de aplicación en el sistema de riego por aspersión en Pacuri - Socos*. AYACUCHO: UNSCH.

- Durand Rojas, G. (2017). *Evaluación del coeficiente de uniformidad de Christiansen en riego por aspersión con línea lateral unitaria en el distrito Huambo, provincia Caylloma, región Arequipa*. AREQUIPA: Universidad Católica de Santa María.
- Fernández Gómez, R. (2010). *Manual de riego para Agricultores*. Sevilla: Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera.
- Gobierno Regional de Ayacucho. (2006). *Memoria Descriptiva Proyecto Especial "Río Cachi"*. Ayacucho: Gobierno Regional de Ayacucho.
- Huallanca, R. Q. (2017). *Comparación de los componentes de riego por aspersión en la comunidad de Santa Magdalena*. Ayacucho: Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga.
- Inca Capcha, D. F., & Vásquez Bernal, M. E. (2023). *Implementación de un Piloto Experimental con un Sistema Hidráulico para mejorar la Eficiencia del Riego y el Control de Heladas en Cultivos Alto Andinos en Carmen Salcedo - Andamarca, Ayacucho, 2023*. Lima: Universidad Tecnológica del Perú.
- Instituto de Investigaciones Agropecuarias. (2001). *Riego por aspersión*. Carillanca: Gobierno de Chile.
- Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola. (2023). *Uso eficiente de sistemas de riego*. Cuba: Editorial IAGRIC.
- Jensen, M. E., & Allen, R. G. (2016). *Desing and operation of farm irrigation systems*. Nebraska: ASABE (American Society of Agricultural and Biological Engineers).
- Keller, J., & Bliesner, R. D. (1990). *Sprinkle and Trickle Irrigation*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Keller, J., & Merriam, J. L. (1978). *Farm irrigation system evaluation: a guide for management*. Utah: Utah State University.

- Khadiga, T. E., Ahmed, M. H., Ahmed, A. H., & Ali, M. (2023). Prediction of water distribution uniformity of sprinkler irrigation system based on machine learning algorithms. *Scientific reports*.
- Maraufpoor, E., Faryabi, A., Ghamarnia, H., & Moshrefi, G. Y. (2010). Evaluación de los coeficientes de uniformidad de los sistemas de riego por aspersión en diferentes condiciones de campo en la provincia de Kurdistán (noroeste de Irán). *ResearchGate*, 139 - 145.
- Ministerio de Agricultura y Riego. (2015). *Manual del calculo de eficiencia para sistemas de riego*. Lima: Dirección General de Infraestructura Agraria y Riego.
- Nations, F. a. (2021). The state of the world's land and water resources for food and agriculture. *FAO*.
- Organización de las Naciones Unidas. (2015). *Transformar nuestro mundo: La agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. EE.UU.: ONU.
- Oweis, T., & Hachum, A. (2006). Water harvesting and supplemental irrigation for improved water use efficiency in dry areas. *Irrigation Science*, 209-218.
- Palomino Huamani, E. (2016). *Diseño del sistema de riego por aspersión en funcion a la programacion de riego en la comunidad de Urpaypampa - 2016*. Ayacucho: Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga.
- Pizarro Cabello, F. (1996). *Riegos localizados de alta frecuencia: Goteo, microaspersión, exudación*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Playán, E., & Mateos, L. (2006). Modernization and optimization of irrigation systems to increase water productivity. *Agricultural Water Management*, 100 - 116.
- Sandoval Illescas, J. E. (2007). *Principios de riego y drenaje*. Guatemala: Editorial Universitaria.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (15 de Noviembre de 2025). *SENAHMI*. Obtenido de SENAHMI: <https://www.gob.pe/senamhi>
- Sotelo Ávila, G. (2002). *Hidráulica de Canales*. México: Limusa Noriega Editores.

- Soto Hoyos, J. F. (2002). *Manual para el diseño y gestión de pequeños sistemas de riego por aspersión en laderas*. Cusco: Proyecto Manejo Sostenible de Suelos y Agua en Laderas.
- Streeter, V. L., Wylie, E. B., & Bedford, K. W. (1998). *Fluid Mechanics*. Colombia: McGraw-Hill.
- Tarjuelo, J. M., Montero, J., Honrubia, F. T., & Ortega, J. F. (1999). Analysis of losses, uniformities and losses of water in sprinkler irrigation. *Agricultural Water Management*, 269 - 281.
- Vasquez V., A., Vasquez R., I., Vasquez R., C., & Cañamero K., M. (2017). *Fundamentos de la Ingeniería de Riegos*. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Yacoubi, S., Zayani, K., Slatni, A., & Playán, E. (2012). Evaluación del rendimiento del riego por aspersión mediante evaluaciones por aspersión mediante evaluaciones de campo en el valle bajo de Medjerda, Túnez. *Scientific Research*, 1 - 4.

ANEXOS

ANEXO A:

Panel

Fotográfico

PANEL FOTOGRÁFICO



Figura 24. Identificación de campo en Casaorcco



Figura 25. Identificación de campo en Manzanayocc



Figura 26. Identificación de campo en Santa Bárbara



Figura 27. *Identificación de campo en Cusibamba*



Figura 28. *Identificación en campo de Acosvinchos*



Figura 29. Reservoirio – 01 de Casaorcco

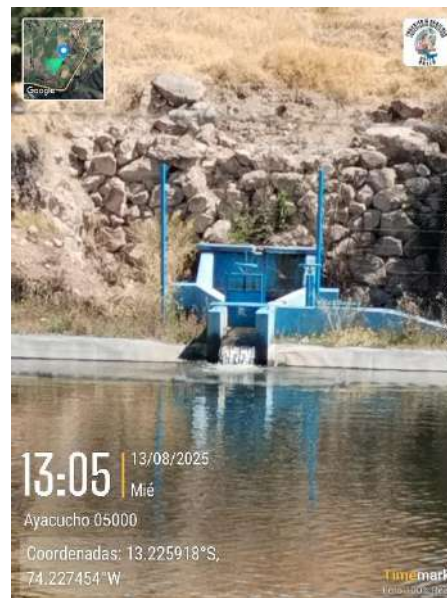


Figura 30. Canal de alimentación de reservorio en Casaorcco.



Figura 31. Cámara de válvula sectorial en Casaorcco.



Figura 32. *Válvula de apertura y cierre junto al aspersor en Casaorcco.*



Figura 33. *Reservorio – 01 de Manzanayocc.*



Figura 34. *Canal principal del Proyecto CACHI.*



Figura 35. Toma lateral en canal principal en Manzanayocc.



Figura 36. Canal de alimentación y derivación para otras parcelas.



Figura 37. Estructura de control de malezas.

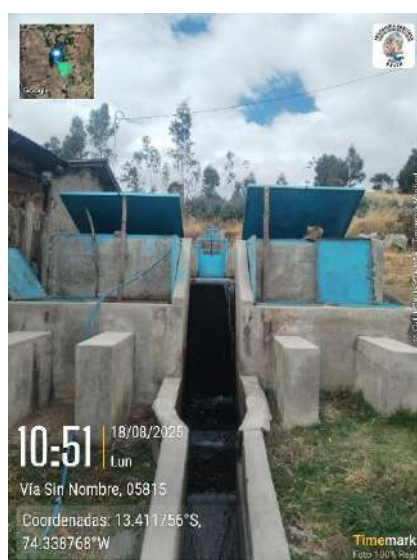


Figura 38. Válvulas de alimentación para los 04 reservorios.



Figura 39. Válvula sectorial automatizada en Manzanayocc.

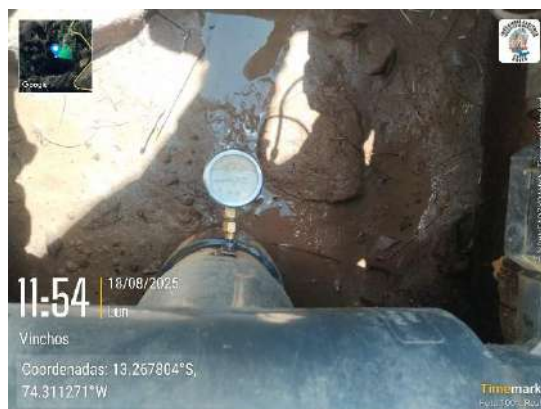


Figura 40. Control de presión de trabajo para el riego en Manzanayocc.



Figura 41. Válvula parcelaria directa en Manzanayocc.



Figura 42. Reservorio – 01 de Santa Bárbara.



Figura 43. Estructura de Desarenador.



Figura 44. Compuerta de alimentación para reservorio.



Figura 45. Válvula sectorial automatizada en Santa Bárbara.



Figura 46. *Válvula parcelaria en Santa bárbara*



Figura 47. *Reservorio de Cusibamba.*



Figura 48. Toma lateral en el canal principal de proyecto CACHI.



Figura 49. Canal de alimentación para pozo y reservorio.



Figura 50. *Compuertas de derivación.*



Figura 51. *Cámara de válvulas de derivación en pozo.*



Figura 52. Válvula parcelaria en Cusibamba



Figura 53. Reservorio de Acosvinchos.



Figura 54. Cámara de válvula de derivación al sistema.

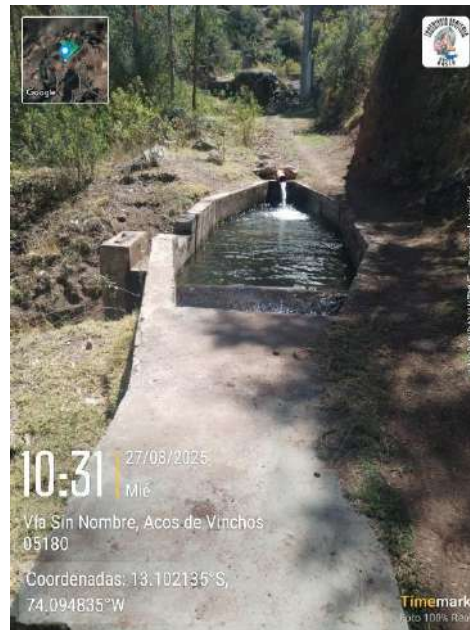


Figura 55. Desarenador de sistema para pasar a tubería enterrada.



Figura 56. Rendijas en el sistema para evitar obstrucciones.



Figura 57. Cámara de válvula sectorial.



Figura 58. Cámara de hidrante parcelario.

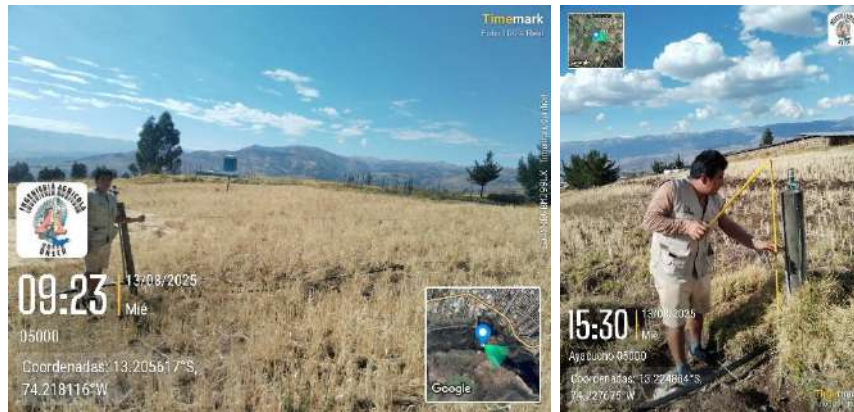


Figura 59. Mediciones en Casaorcco.

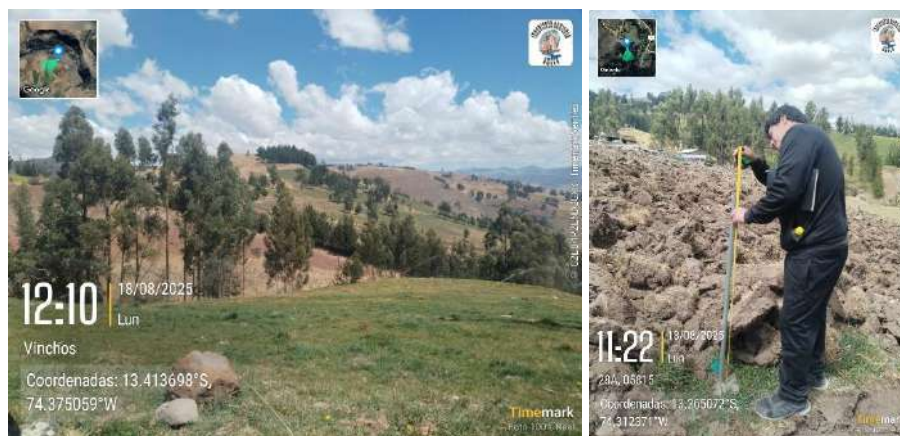


Figura 60. Mediciones en Manzanayocc.



Figura 61. Mediciones en Santa Bárbara.



Figura 62. Mediciones en Cusibamba.

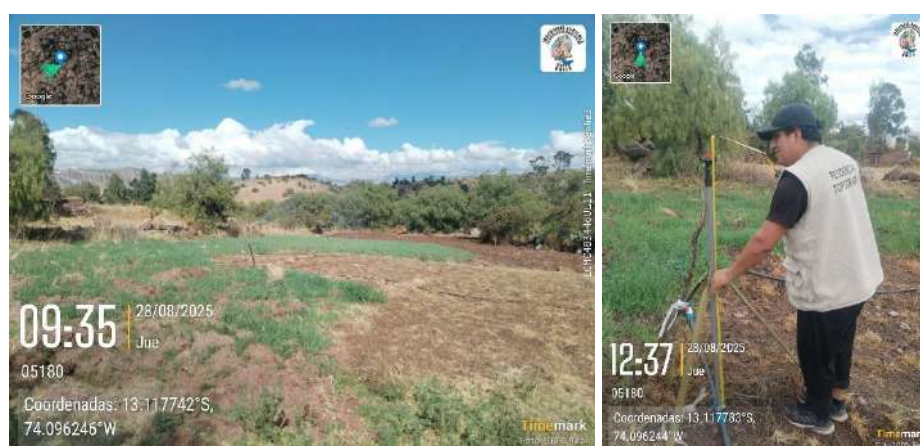


Figura 63. Mediciones en Acosvinchos.



Figura 67. Colocación de pluviómetros en Cusibamba.



Figura 68. Colocación de pluviómetros en Acosvinchos.

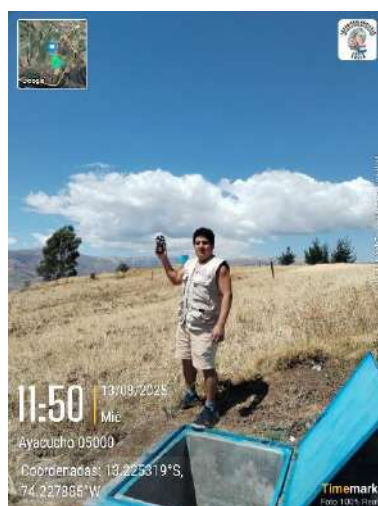


Figura 69. Control meteorológico en Casaorcco.



Figura 70. Control meteorológico en Manzanayocc.



Figura 71. Control meteorológico en Cusibamba.



Figura 72. Recolección de datos en Casaorcco.



Figura 73. Recolección de datos en Manzanayocc.



Figura 74. Recolección de datos en Santa Bárbara.



Figura 75. Recolección de datos en Cusibamba.



Figura 76. *Recolección de datos en Acosvinchos.*



Figura 77. *Proceso de prueba de infiltración en cada parcela.*

ANEXO B1:

TABLAS DE

DATOS

INICIALES

Tabla 41.

Datos Santa Bárbara

N° de pluviómetro	Cantidad de agua (ml)	46	120.00	91	109.00	136	77.00	181	73.00
1	100.00	47	116.00	92	106.00	137	84.00	182	95.00
2	114.00	48	105.00	93	91.00	138	85.00	183	100.00
3	123.00	49	53.00	94	85.00	139	170.00	184	109.00
4	130.00	50	75.00	95	58.00	140	140.00	185	112.00
5	132.00	51	125.00	96	55.00	141	132.00	186	118.00
6	135.00	52	130.00	97	85.00	142	89.00	187	180.00
7	151.00	53	150.00	98	85.00	143	85.00	188	150.00
8	150.00	54	180.00	99	89.00	144	85.00	189	130.00
9	135.00	55	118.00	100	132.00	145	55.00	190	125.00
10	128.00	56	112.00	101	140.00	146	58.00	191	75.00
11	120.00	57	109.00	102	170.00	147	85.00	192	53.00
12	100.00	58	100.00	103	85.00	148	91.00	193	105.00
13	112.00	59	95.00	104	84.00	149	106.00	194	116.00
14	112.00	60	73.00	105	77.00	150	109.00	195	120.00
15	112.00	61	175.00	106	76.00	151	145.00	196	127.00
16	122.00	62	185.00	107	75.00	152	110.00	197	130.00
17	132.00	63	230.00	108	66.00	153	109.00	198	130.00
18	132.00	64	348.00	109	85.00	154	86.00	199	95.00
19	153.00	65	465.00	110	105.00	155	75.00	200	80.00
20	145.00	66	460.00	111	109.00	156	70.00	201	75.00
21	144.00	67	100.00	112	141.00	157	80.00	202	67.00
22	143.00	68	97.00	113	142.00	158	80.00	203	63.00
23	143.00	69	96.00	114	160.00	159	85.00	204	62.00
24	128.00	70	94.00	115	165.00	160	90.00	205	93.00
25	73.00	71	93.00	116	128.00	161	91.00	206	103.00
26	84.00	72	89.00	117	80.00	162	97.00	207	105.00
27	95.00	73	105.00	118	76.00	163	240.00	208	110.00
28	96.00	74	106.00	119	70.00	164	185.00	209	123.00
29	125.00	75	109.00	120	64.00	165	137.00	210	140.00
30	145.00	76	137.00	121	64.00	166	109.00	211	145.00
31	140.00	77	185.00	122	70.00	167	106.00	212	125.00
32	123.00	78	240.00	123	76.00	168	105.00	213	96.00
33	110.00	79	97.00	124	80.00	169	89.00	214	95.00
34	105.00	80	91.00	125	128.00	170	93.00	215	84.00
35	103.00	81	90.00	126	165.00	171	94.00	216	73.00
36	93.00	82	85.00	127	160.00	172	96.00	217	128.00
37	62.00	83	80.00	128	142.00	173	97.00	218	143.00
38	63.00	84	80.00	129	141.00	174	100.00	219	143.00
39	67.00	85	70.00	130	109.00	175	465.00	220	144.00
40	75.00	86	75.00	131	105.00	176	460.00	221	145.00
41	80.00	87	86.00	132	85.00	177	348.00	222	153.00
42	95.00	88	109.00	133	66.00	178	230.00	223	132.00
43	130.00	89	110.00	134	75.00	179	185.00	224	132.00
44	130.00	90	145.00	135	76.00	180	175.00	225	122.00
45	127.00							226	112.00
								227	112.00
								228	112.00
								229	100.00
								230	120.00
								231	128.00
								232	135.00
								233	150.00
								234	151.00
								235	135.00
								236	132.00
								237	130.00
								238	123.00
								239	114.00
								240	100.00
								PROMEDIO	119.19

Nota: Elaboración propia acerca de la medición de los pluviómetros en Santa Bárbara.

Tabla 42.*Datos Cusibamba*

N° de pluviómetro	Cantidad de agua (ml)						
1	110.00	38	108.00	75	150.00	112	100.00
2	111.00	39	102.00	76	150.00	113	115.00
3	147.00	40	100.00	77	135.00	114	120.00
4	155.00	41	70.00	78	130.00	115	146.00
5	173.00	42	73.00	79	129.00	116	125.00
6	160.00	43	85.00	80	131.00	117	125.00
7	140.00	44	108.00	81	55.00	118	106.00
8	120.00	45	115.00	82	57.00	119	85.00
9	108.00	46	166.00	83	75.00	120	85.00
10	100.00	47	160.00	84	90.00	121	117.00
11	100.00	48	155.00	85	130.00	122	121.00
12	101.00	49	128.00	86	146.00	123	128.00
13	120.00	50	118.00	87	140.00	124	130.00
14	123.00	51	82.00	88	138.00	125	135.00
15	137.00	52	90.00	89	120.00	126	120.00
16	151.00	53	105.00	90	100.00	127	120.00
17	115.00	54	109.00	91	55.00	128	120.00
18	102.00	55	115.00	92	75.00	129	106.00
19	100.00	56	105.00	93	90.00	130	95.00
20	50.00	57	95.00	94	95.00	131	105.00
21	96.00	58	90.00	95	145.00	132	110.00
22	125.00	59	86.00	96	152.00	133	110.00
23	125.00	60	82.00	97	112.00	134	111.00
24	130.00	61	95.00	98	100.00	135	120.00
25	175.00	62	102.00	99	90.00	136	198.00
26	140.00	63	105.00	100	90.00	137	192.00
27	120.00	64	112.00	101	92.00	138	175.00
28	117.00	65	124.00	102	95.00	139	164.00
29	107.00	66	143.00	103	100.00	140	143.00
30	100.00	67	125.00	104	110.00	141	100.00
31	110.00	68	122.00	105	145.00	142	101.00
32	110.00	69	100.00	106	200.00	143	107.00
33	106.00	70	92.00	107	170.00	144	125.00
34	103.00	71	121.00	108	120.00	145	132.00
35	90.00	72	127.00	109	95.00	146	290.00
36	151.00	73	128.00	110	90.00	147	175.00
37	140.00	74	143.00	111	83.00	148	173.00
						149	140.00
						150	132.00
						PROMEDIO	118.91

Nota: Elaboración propia acerca de medición de pluviómetros en Cusibamba.

Tabla 43.*Datos Acosvinchos*

N° de pluviómetro	Cantidad de agua (ml)						
1	95.00	33	91.00	65	110.00	97	128.00
2	115.00	34	113.00	66	115.00	98	105.00
3	140.00	35	207.00	67	106.00	99	105.00
4	152.00	36	130.00	68	88.00	100	104.00
5	162.00	37	115.00	69	80.00	101	76.00
6	130.00	38	107.00	70	75.00	102	97.00
7	115.00	39	105.00	71	90.00	103	142.00
8	115.00	40	98.00	72	95.00	104	166.00
9	105.00	41	64.00	73	120.00	105	200.00
10	100.00	42	88.00	74	146.00	106	165.00
11	93.00	43	92.00	75	187.00	107	152.00
12	115.00	44	100.00	76	95.00	108	150.00
13	140.00	45	112.00	77	93.00	109	150.00
14	151.00	46	125.00	78	90.00	110	145.00
15	165.00	47	118.00	79	84.00	111	95.00
16	135.00	48	115.00	80	75.00	112	100.00
17	120.00	49	105.00	81	140.00	113	110.00
18	120.00	50	90.00	82	150.00	114	125.00
19	100.00	51	95.00	83	156.00	115	156.00
20	95.00	52	100.00	84	162.00	116	185.00
21	101.00	53	110.00	85	165.00	117	161.00
22	106.00	54	110.00	86	90.00	118	151.00
23	120.00	55	175.00	87	80.00	119	142.00
24	135.00	56	161.00	88	80.00	120	130.00
25	146.00	57	151.00	89	76.00	121	79.00
26	125.00	58	145.00	90	70.00	122	93.00
27	110.00	59	103.00	91	125.00	123	110.00
28	106.00	60	25.00	92	135.00	124	115.00
29	100.00	61	90.00	93	160.00	125	185.00
30	100.00	62	100.00	94	160.00	126	151.00
31	69.00	63	100.00	95	170.00	127	149.00
32	85.00	64	104.00	96	150.00	128	145.00
						129	115.00
						130	110.00
						PROMEDIO	119.38

Nota: *Elaboración propia acerca de medición de pluviómetros en Acosvinchos.*

Tabla 44.

Datos Meteorológicos Casaorcco

N° de datos	Hora	Vel. viento (m/seg)	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)
1	11:45 a. m.	2.85	29.20	28.60
2	11:50 a. m.	2.68	29.00	28.40
3	11:55 a. m.	2.30	28.70	28.50
4	12:00 p. m.	1.80	28.50	28.30
5	12:05 p. m.	1.65	28.20	28.10
6	12:10 p. m.	1.90	27.70	27.80
7	12:15 p. m.	1.50	27.50	27.70
8	12:20 p. m.	0.95	27.80	27.50
9	12:25 p. m.	1.37	27.60	27.10
10	12:30 p. m.	1.63	27.00	26.80
11	12:35 p. m.	1.86	27.80	26.90
12	12:40 p. m.	2.10	28.00	27.40
13	12:45 p. m.	2.37	28.40	27.80
14	12:50 p. m.	3.60	28.70	28.40
15	12:55 p. m.	2.75	29.00	28.70
16	1:00 p. m.	2.24	29.20	29.00
17	1:05 p. m.	2.10	28.00	29.20
18	1:10 p. m.	1.84	28.60	28.80
19	1:15 p. m.	1.34	29.00	27.50
20	1:20 p. m.	0.92	28.10	28.40
21	1:25 p. m.	1.68	27.80	28.00
22	1:30 p. m.	1.86	28.60	27.90
23	1:35 p. m.	2.35	29.20	27.90
24	1:40 p. m.	2.21	28.50	28.20
25	1:45 p. m.	1.75	29.00	28.00
PROMEDIO		1.98	28.36	28.04

Nota: Elaboración propia acerca de la medición de parámetros meteorológicos en Casaorcco.

Tabla 45.*Datos Meteorológicos Manzanayocc*

N° de datos	Hora	Vel. viento (m/seg)	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)
1	11:40 a. m.	3.12	24.10	42.90
2	11:45 a. m.	1.23	23.60	42.70
3	11:50 a. m.	3.10	23.60	40.70
4	11:55 a. m.	1.80	22.70	40.20
5	12:00 p. m.	0.67	22.40	41.60
6	12:05 p. m.	3.17	23.40	38.20
7	12:10 p. m.	3.25	23.70	37.00
8	12:15 p. m.	3.04	24.20	35.40
9	12:20 p. m.	1.75	24.40	36.50
10	12:25 p. m.	0.92	24.00	36.50
11	12:30 p. m.	1.35	24.20	38.90
12	12:35 p. m.	3.03	26.50	36.10
13	12:40 p. m.	1.25	27.50	30.50
14	12:45 p. m.	3.39	28.90	31.00
15	12:50 p. m.	1.10	28.00	31.50
16	12:55 p. m.	2.25	27.90	32.00
17	1:00 p. m.	3.06	28.00	31.00
18	1:05 p. m.	2.54	28.30	30.20
19	1:10 p. m.	1.56	28.30	29.50
20	1:15 p. m.	0.96	28.00	29.90
21	1:20 p. m.	1.20	27.70	29.70
22	1:25 p. m.	1.84	27.50	30.00
23	1:30 p. m.	2.26	28.00	30.50
24	1:35 p. m.	3.24	28.50	29.00
25	1:40 p. m.	1.90	29.50	28.70
PROMEDIO		2.12	26.12	34.41

Nota: Elaboración propia acerca de la medición de parámetros meteorológicos en Manzanayocc.

Tabla 46.

Datos Meteorológicos Santa Bárbara

Nº de datos	Hora	Vel. viento (m/seg)	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)
1	11:00 a. m.	0.68	23.90	51.40
2	11:05 a. m.	1.88	24.30	51.20
3	11:10 a. m.	1.20	25.00	51.00
4	11:15 a. m.	1.54	25.40	50.80
5	11:20 a. m.	1.86	25.80	50.50
6	11:25 a. m.	1.10	26.20	49.80
7	11:30 a. m.	1.31	26.50	49.00
8	11:35 a. m.	2.05	26.80	48.30
9	11:40 a. m.	1.85	27.10	48.50
10	11:45 a. m.	2.15	27.60	48.00
11	11:50 a. m.	1.58	28.00	47.80
12	11:55 a. m.	1.42	27.80	47.30
13	12:00 p. m.	1.30	28.20	47.10
14	12:05 p. m.	3.20	28.50	46.80
15	12:10 p. m.	2.45	28.00	46.20
16	12:15 p. m.	3.57	28.70	46.00
17	12:20 p. m.	2.20	29.00	45.20
18	12:25 p. m.	1.35	28.70	45.00
19	12:30 p. m.	1.54	29.00	44.80
20	12:35 p. m.	1.23	29.30	44.30
21	12:40 p. m.	1.10	29.00	44.00
22	12:45 p. m.	0.95	29.00	42.30
23	12:50 p. m.	1.47	28.80	41.50
24	12:55 p. m.	1.62	28.50	39.80
25	1:00 p. m.	1.78	28.30	39.50
PROMEDIO		1.70	27.50	46.64

Nota: Elaboración propia acerca de la medición de parámetros meteorológicos en Santa Bárbara.

Tabla 47.*Datos Meteorológicos Cusibamba*

Nº de datos	Hora	Vel. viento (m/seg)	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)
1	11:30 a. m.	0.83	21.60	45.00
2	11:35 a. m.	1.31	20.80	44.50
3	11:40 a. m.	3.12	20.80	43.50
4	11:45 a. m.	2.70	21.80	44.50
5	11:50 a. m.	2.91	22.60	44.60
6	11:55 a. m.	1.02	22.40	43.70
7	12:00 p. m.	1.50	23.50	42.90
8	12:05 p. m.	1.74	25.10	40.50
9	12:10 p. m.	1.31	26.60	38.80
10	12:15 p. m.	3.44	27.40	36.60
11	12:20 p. m.	2.80	27.70	35.10
12	12:25 p. m.	3.35	27.90	35.50
13	12:30 p. m.	1.75	27.00	32.20
14	12:35 p. m.	2.16	26.10	32.80
15	12:40 p. m.	0.68	25.60	33.50
16	12:45 p. m.	3.40	27.60	33.00
17	12:50 p. m.	3.20	27.70	30.50
18	12:55 p. m.	3.17	28.00	30.10
19	1:00 p. m.	3.25	25.50	32.00
20	1:05 p. m.	2.25	26.10	31.00
21	1:10 p. m.	2.51	25.30	33.10
22	1:15 p. m.	2.33	24.50	34.50
23	1:20 p. m.	3.24	25.00	33.00
24	1:25 p. m.	2.54	24.20	32.50
25	1:30 p. m.	1.84	24.60	33.00
PROMEDIO		2.33	25.02	36.66

Nota: *Elaboración propia acerca de la medición de parámetros meteorológicos en Cusibamba.*

Tabla 48.

Datos Meteorológicos Acosvinchos

N° de datos	Hora	Vel. viento (m/seg)	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)
1	9:30 a. m.	0.67	20.50	51.70
2	9:35 a. m.	0.70	21.00	51.00
3	9:40 a. m.	1.25	21.20	50.80
4	9:45 a. m.	1.50	21.60	50.50
5	9:50 a. m.	1.35	22.00	50.20
6	9:55 a. m.	1.00	22.30	50.00
7	10:00 a. m.	1.70	22.70	48.70
8	10:05 a. m.	2.10	23.10	48.20
9	10:10 a. m.	1.60	23.40	48.00
10	10:15 a. m.	1.20	23.90	47.20
11	10:20 a. m.	0.95	24.10	46.50
12	10:25 a. m.	1.10	24.70	46.30
13	10:30 a. m.	1.00	25.00	46.00
14	10:35 a. m.	0.90	25.20	45.80
15	10:40 a. m.	0.75	27.00	45.30
16	10:45 a. m.	1.00	27.30	45.00
17	10:50 a. m.	1.24	27.80	44.30
18	10:55 a. m.	0.80	28.00	44.00
19	11:00 a. m.	1.00	28.50	42.50
20	11:05 a. m.	0.90	28.00	41.00
21	11:10 a. m.	1.53	27.50	40.50
22	11:15 a. m.	1.75	27.80	40.00
23	11:20 a. m.	1.10	28.00	39.80
24	11:25 a. m.	0.85	28.00	39.50
25	11:30 a. m.	0.92	28.50	39.00
PROMEDIO		1.15	25.08	45.67

Nota: Elaboración propia acerca de la medición de parámetros meteorológicos en Acosvinchos.

ANEXO B2:

TABLAS DE

DATOS DE

MEJORA

Tabla 49.

Datos Casaorcco (adicional).

N° de pluviómetro	Cantidad de agua (ml) Xi								
1	81.0	43	100.0	85	130.0	127	90.0	169	65.0
2	103.0	44	90.0	86	115.0	128	110.0	170	85.0
3	119.0	45	65.0	87	100.0	129	140.0	171	95.0
4	120.0	46	70.0	88	75.0	130	130.0	172	95.0
5	111.0	47	80.0	89	70.0	131	125.0	173	115.0
6	88.0	48	115.0	90	90.0	132	90.0	174	130.0
7	82.0	49	130.0	91	95.0	133	85.0	175	128.0
8	64.0	50	135.0	92	118.0	134	70.0	176	120.0
9	83.0	51	110.0	93	125.0	135	103.0	177	107.0
10	84.0	52	85.0	94	120.0	136	115.0	178	75.0
11	114.0	53	70.0	95	91.0	137	115.0	179	108.0
12	124.0	54	75.0	96	90.0	138	120.0	180	115.0
13	130.0	55	95.0	97	78.0	139	110.0	181	125.0
14	125.0	56	100.0	98	95.0	140	105.0	182	125.0
15	125.0	57	120.0	99	100.0	141	85.0	183	105.0
16	110.0	58	130.0	100	120.0	142	75.0	184	95.0
17	68.0	59	120.0	101	140.0	143	70.0	185	85.0
18	80.0	60	120.0	102	140.0	144	90.0	186	73.0
19	93.0	61	100.0	103	100.0	145	105.0	187	85.0
20	110.0	62	88.0	104	90.0	146	115.0	188	95.0
21	124.0	63	65.0	105	90.0	147	115.0	189	110.0
22	125.0	64	75.0	106	85.0	148	105.0	190	110.0
23	105.0	65	80.0	107	75.0	149	82.0	191	120.0
24	85.0	66	130.0	108	95.0	150	70.0	192	130.0
25	70.0	67	130.0	109	107.0	151	70.0	193	90.0
26	68.0	68	112.0	110	130.0	152	95.0	194	85.0
27	75.0	69	100.0	111	138.0	153	120.0	195	75.0
28	80.0	70	75.0	112	110.0	154	125.0	196	65.0
29	90.0	71	70.0	113	105.0	155	125.0	197	85.0
30	110.0	72	80.0	114	85.0	156	125.0	198	95.0
31	130.0	73	90.0	115	70.0	157	120.0	199	110.0
32	128.0	74	90.0	116	67.0	158	95.0	200	130.0
33	105.0	75	105.0	117	78.0	159	77.0	201	115.0
34	84.0	76	135.0	118	108.0	160	70.0	202	100.0
35	75.0	77	95.0	119	110.0	161	80.0	203	95.0
36	80.0	78	90.0	120	120.0	162	95.0	204	70.0
37	88.0	79	70.0	121	110.0	163	125.0	205	75.0
38	110.0	80	75.0	122	95.0	164	130.0	206	80.0
39	123.0	81	75.0	123	85.0	165	130.0	207	105.0
40	128.0	82	85.0	124	80.0	166	125.0	208	110.0
41	135.0	83	90.0	125	65.0	167	115.0	209	125.0
42	110.0	84	115.0	126	70.0	168	110.0	210	115.0
								211	95.0
								212	95.0
								213	85.0
								214	73.0
								215	85.0
								216	102.0
								217	121.0
								218	119.0
								219	102.0
								220	95.0
								221	85.0
								PROMEDIO (X)	99.8

Nota: Elaboración propia acerca de la medición de los pluviómetros en Casaorcco (adicional).

Tabla 50.*Datos Santa Bárbara (adicional).*

N° de pluviómetro	Cantidad de agua (ml)	41	102.00	81	80.00	126	89.00
1	68.00	42	75.00	82	83.00	127	91.00
2	80.00	43	68.00	83	110.00	128	102.00
3	100.00	44	67.00	84	132.00	129	105.00
4	101.00	45	69.00	85	135.00	130	118.00
5	103.00	46	83.00	86	134.00	131	112.00
6	67.00	47	100.00	87	130.00	132	89.00
7	65.00	48	113.00	88	82.00	133	76.00
8	60.00	49	133.00	89	61.00	134	73.00
9	66.00	50	126.00	90	79.00	135	77.00
10	104.00	51	102.00	91	81.00	136	112.00
11	121.00	52	80.00	92	88.00	137	121.00
12	122.00	53	70.00	93	145.00	138	130.00
13	125.00	54	62.00	94	133.00	139	110.00
14	108.00	55	93.00	95	131.00	140	109.00
15	94.00	56	103.00	96	74.00	141	106.00
16	94.00	57	105.00	97	72.00	142	98.00
17	79.00	58	139.00	98	74.00	143	72.00
18	62.00	59	137.00	99	119.00	144	116.00
19	89.00	60	135.00	100	120.00	145	117.00
20	93.00	61	90.00	101	126.00	146	124.00
21	112.00	62	75.00	102	138.00	147	128.00
22	127.00	63	55.00	103	133.00	148	131.00
23	127.00	64	58.00	104	118.00	149	81.00
24	113.00	65	68.00	105	96.00	150	73.00
25	111.00	66	72.00	106	84.00	151	63.00
26	83.00	67	78.00	107	65.00	152	91.00
27	71.00	68	101.00	108	83.00	153	93.00
28	75.00	69	82.00	109	104.00	154	104.00
29	100.00	70	79.00	110	110.00	155	140.00
30	122.00	71	75.00	111	138.00	156	145.00
31	136.00	72	61.00	112	140.00	157	106.00
32	124.00	73	84.00	113	139.00	158	98.00
33	118.00	74	98.00	114	91.00	159	74.00
34	106.00	75	138.00	115	62.00	160	74.00
35	102.00	76	117.00	116	78.00	161	61.00
36	64.00	77	114.00	117	84.00	162	80.00
37	73.00	78	95.00	118	105.00	163	104.00
38	97.00	79	93.00	119	113.00	164	110.00
39	120.00	80	76.00	120	118.00	165	133.00
40	123.00			121	117.00	166	75.00
				122	89.00	167	74.00
				123	83.00	168	66.00
				124	81.00	PROMEDIO	97.98
				125	75.00		

Nota: Elaboración propia acerca de la medición de los pluviómetros en Santa Bárbara (adicional).

Tabla 51.*Datos Acosvinchos (adicional).*

N° de pluviómetro	Cantidad de agua (ml)				
1	60.00	44	135.00	87	110.00
2	105.00	45	135.00	88	105.00
3	130.00	46	135.00	89	60.00
4	135.00	47	135.00	90	60.00
5	135.00	48	130.00	91	60.00
6	135.00	49	130.00	92	105.00
7	130.00	50	120.00	93	115.00
8	115.00	51	110.00	94	115.00
9	110.00	52	110.00	95	120.00
10	105.00	53	115.00	96	135.00
11	105.00	54	130.00	97	115.00
12	110.00	55	135.00	98	110.00
13	115.00	56	115.00	99	105.00
14	135.00	57	115.00	100	105.00
15	135.00	58	105.00	101	60.00
16	135.00	59	105.00	102	105.00
17	115.00	60	60.00	103	110.00
18	105.00	61	60.00	104	115.00
19	105.00	62	60.00	105	135.00
20	60.00	63	60.00	106	115.00
21	60.00	64	110.00	107	115.00
22	105.00	65	115.00	108	110.00
23	105.00	66	115.00	109	105.00
24	110.00	67	115.00	110	60.00
25	135.00	68	110.00	111	60.00
26	115.00	69	105.00	112	105.00
27	115.00	70	105.00	113	110.00
28	110.00	71	60.00	114	115.00
29	105.00	72	60.00	115	115.00
30	60.00	73	105.00	116	120.00
31	60.00	74	120.00	117	115.00
32	105.00	75	135.00	118	115.00
33	105.00	76	115.00	119	110.00
34	135.00	77	115.00	120	105.00
35	135.00	78	115.00	121	105.00
36	135.00	79	110.00	122	110.00
37	135.00	80	60.00	123	110.00
38	110.00	81	60.00	124	115.00
39	110.00	82	60.00	125	130.00
40	105.00	83	105.00	126	135.00
41	105.00	84	115.00	127	130.00
42	110.00	85	120.00	128	130.00
43	115.00	86	110.00	129	115.00
				130	60.00
				PROMEDIO	107.42

Nota: Elaboración propia acerca de la medición de los pluviómetros en Acosvinchos (adicional).

Tabla 52.*Datos Meteorológicos Casaorcco (adicional)*

N° de datos	Hora	Vel. viento (m/seg)	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)
1	11:45 a. m.	0.80	15.90	49.80
2	11:50 a. m.	1.00	16.50	48.90
3	11:55 a. m.	1.25	17.20	48.10
4	12:00 p. m.	1.20	17.90	47.20
5	12:05 p. m.	1.40	18.60	46.50
6	12:10 p. m.	1.56	19.40	45.70
7	12:15 p. m.	1.75	20.20	45.00
8	12:20 p. m.	2.25	20.90	45.20
9	12:25 p. m.	1.95	21.60	44.20
10	12:30 p. m.	2.10	22.10	43.10
11	12:35 p. m.	2.00	22.80	44.20
12	12:40 p. m.	2.50	23.30	42.50
13	12:45 p. m.	1.96	23.90	42.30
14	12:50 p. m.	1.54	24.20	42.10
15	12:55 p. m.	1.80	24.40	41.50
16	1:00 p. m.	2.10	24.80	41.80
17	1:05 p. m.	2.00	25.00	42.60
18	1:10 p. m.	1.57	25.10	43.50
19	1:15 p. m.	1.46	25.30	44.40
20	1:20 p. m.	1.95	25.30	45.30
21	1:25 p. m.	2.10	25.40	46.20
22	1:30 p. m.	2.50	25.50	47.10
23	1:35 p. m.	2.80	25.40	48.00
24	1:40 p. m.	2.10	25.60	48.80
25	1:45 p. m.	1.85	25.70	49.50
PROMEDIO		1.82	22.48	45.34

Nota: Elaboración propia acerca de la medición de parámetros meteorológicos en Casaorcco (adicional).

Tabla 53.*Datos Meteorológicos Santa Bárbara (adicional).*

N° de datos	Hora	Vel. viento (m/seg)	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)
1	11:00 a. m.	0.80	16.80	52.10
2	11:05 a. m.	1.20	17.40	50.80
3	11:10 a. m.	1.50	18.20	49.60
4	11:15 a. m.	0.90	18.90	48.70
5	11:20 a. m.	1.80	19.60	47.90
6	11:25 a. m.	2.10	20.10	46.80
7	11:30 a. m.	1.70	20.80	45.90
8	11:35 a. m.	2.40	21.40	44.70
9	11:40 a. m.	2.80	21.90	43.80
10	11:45 a. m.	2.30	22.30	42.90
11	11:50 a. m.	1.90	22.80	41.70
12	11:55 a. m.	2.60	23.10	40.80
13	12:00 p. m.	3.10	23.50	39.90
14	12:05 p. m.	2.70	23.80	39.20
15	12:10 p. m.	1.60	24.10	38.80
16	12:15 p. m.	2.20	23.70	39.50
17	12:20 p. m.	2.90	23.20	40.40
18	12:25 p. m.	3.30	22.70	41.30
19	12:30 p. m.	2.50	22.10	42.70
20	12:35 p. m.	1.40	21.60	43.80
21	12:40 p. m.	2.00	21.00	45.10
22	12:45 p. m.	3.50	20.50	46.50
23	12:50 p. m.	2.80	19.80	47.60
24	12:55 p. m.	1.80	19.20	48.80
25	1:00 p. m.	2.40	18.60	50.20
PROMEDIO		2.17	21.08	44.78

Nota: Elaboración propia acerca de la medición de parámetros meteorológicos en Santa Bárbara (adicional).

Tabla 54.*Datos Meteorológicos Acosvinchos (adicional).*

N° de datos	Hora	Vel. viento (m/seg)	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)
1	9:30 a. m.	1.10	18.90	66.80
2	9:35 a. m.	1.30	19.20	65.90
3	9:40 a. m.	1.50	19.50	64.80
4	9:45 a. m.	1.70	19.80	63.70
5	9:50 a. m.	1.80	20.10	62.60
6	9:55 a. m.	2.00	20.40	61.50
7	10:00 a. m.	2.20	20.70	60.40
8	10:05 a. m.	2.40	21.00	59.30
9	10:10 a. m.	2.60	21.20	58.20
10	10:15 a. m.	2.50	21.40	57.10
11	10:20 a. m.	2.70	21.60	56.20
12	10:25 a. m.	2.90	21.80	55.30
13	10:30 a. m.	3.00	22.00	54.50
14	10:35 a. m.	3.10	22.20	53.70
15	10:40 a. m.	3.20	22.40	52.90
16	10:45 a. m.	3.00	22.50	52.20
17	10:50 a. m.	2.80	22.60	51.60
18	10:55 a. m.	2.60	22.70	51.00
19	11:00 a. m.	2.40	22.80	50.40
20	11:05 a. m.	2.30	22.60	50.90
21	11:10 a. m.	2.10	22.40	51.80
22	11:15 a. m.	2.00	22.20	52.70
23	11:20 a. m.	1.80	21.90	54.00
24	11:25 a. m.	1.60	21.60	55.40
25	11:30 a. m.	1.50	21.30	56.80
PROMEDIO		2.24	21.39	56.79

Nota: Elaboración propia acerca de la medición de parámetros meteorológicos en Acosvinchos (adicional).

ANEXO C:

FICHAS DE

EVALUACIÓN

FICHAS DE EVALUACIÓN

Aspersor															
70 ml	72 ml	90 ml	110 ml	120 ml	110 ml	90 ml	70 ml								
80 ml	120 ml	121 ml	140 ml	135 ml	130 ml	125 ml	121 ml								
60 ml	110 ml	110 ml	140 ml	130 ml	125 ml	120 ml	70 ml								
97 ml	112 ml	115 ml	135 ml	145 ml	140 ml	130 ml	115 ml								
97 ml	102 ml	122 ml	125 ml	130 ml	125 ml	110 ml	90 ml								
90 ml	90 ml	102 ml	115 ml	130 ml	120 ml	115 ml	85 ml								
90 ml	72 ml	90 ml	100 ml	130 ml	110 ml	110 ml	80 ml								
48 ml	121 ml	135 ml	155 ml	145 ml	140 ml	135 ml	122 ml								
25 ml	130 ml	140 ml	150 ml	155 ml	145 ml	140 ml	130 ml								
55 ml	125 ml	140 ml	145 ml	120 ml	112 ml	95 ml	65 ml								
50 ml	90 ml	125 ml	145 ml	122 ml	100 ml	97 ml	80 ml								
50 ml	80 ml	122 ml	160 ml	105 ml	90 ml	72 ml	50 ml								
75 ml	125 ml	135 ml	150 ml	122 ml	100 ml	95 ml	70 ml								
80 ml	110 ml	125 ml	150 ml	140 ml	115 ml	90 ml	55 ml								
85 ml	45 ml	95 ml	125 ml	145 ml	125 ml	120 ml	75 ml								
80 ml	85 ml	125 ml	125 ml	165 ml	150 ml	100 ml	35 ml								
70 ml	82 ml	120 ml	145 ml	170 ml	160 ml	100 ml	70 ml								
50 ml	70 ml	125 ml	150 ml	150 ml	140 ml	80 ml	50 ml								
Ensayo N° 01				Presión : metros 4.2 bar											
Fecha del ensayo 13/08/25				Descarga del Aspersor : m³/h 4.68 m³/hr											
Inicio del ensayo hora 11:45 am				Velocidad del rot. del aspersor : rev/min 0.76 rev/min											
Duración del ensayo : minuto 120 min				Altura del elevador : cm 140 cm											
Velocidad del viento inicial : m/seg 2.85 m/seg				Espaciamiento de los envases : m/m 5x5 m/m											
Límite de velocidad del viento : m/seg				Tipo de aspersor : Senninger 7025 - 23°											
Temperatura inicial : °C 29.20 °C															
Humedad relativa inicial : % 28.60 %															
RESULTADOS DEL ENSAYO															
metro x metro	mm / hora	Cu - %	Observación			Direc. del viento norte									
Espaciamiento	Precipitación	Coef. de uniform.													
Dibujo :		Lugar del ensayo : Casaorcco													
		Método del ensayo : Método de Christiansen													

Figura 78. Ficha de evaluación de Casaorcco.

[illegible]

Figura 80. *Ficha de evaluación de Santa Bárbara.*

Ensayo N° 04		Presión	: metros	3.0 bar
Fecha del ensayo	25/08/25	Descarga del Aspersor	: m³/h	2.16 m³/hr
Inicio del ensayo	hora 11:30 am	Velocidad del rot. del aspersor	: rev/min	1.12 rev/min
Duración del ensayo	: minuto 120 min	Altura del elevador	: cm	100 cm
Velocidad del viento inicial	: m/seg 0.83 m/seg	Espaciamiento de los envases	: m/m	4x4 m/m
Límite de velocidad del viento	: m/seg	Tipo de aspersor: AKONA (KA-30)		
Temperatura inicial	: °C 21.60 °C			
Humedad relativa inicial	: % 45.00 %			

RESULTADOS DEL ENSAYO				
metro x metro	mm / hora	Cu - %	Observacion	Direc. del viento norte
Espaciamiento	Precipitacion	Coef. de uniform.		
Dibujo :	Lugar del ensayo :	Cusibamba		
	Metodo del ensayo :	Método de Christiansen		

Figura 81. *Ficha de evaluación de Cusibamba.*

95 ml	115 ml	140 ml	152 ml	162 ml	130 ml	115 ml	115 ml	105 ml	100 ml
93 ml	115 ml	140 ml	151 ml	165 ml	135 ml	120 ml	120 ml	100 ml	95 ml
101 ml	106 ml	120 ml	135 ml	146 ml	125 ml	110 ml	106 ml	100 ml	100 ml
69 ml	85 ml	91 ml	113 ml	207 ml	130 ml	115 ml	109 ml	105 ml	98 ml
64 ml	88 ml	92 ml	100 ml	112 ml	125 ml	118 ml	115 ml	105 ml	90 ml
95 ml	100 ml	110 ml	110 ml	175 ml	161 ml	151 ml	145 ml	103 ml	25 ml
90 ml	100 ml	100 ml	104 ml	110 ml	115 ml	106 ml	88 ml	80 ml	75 ml
90 ml	95 ml	120 ml	146 ml	187 ml	95 ml	93 ml	90 ml	84 ml	75 ml
140 ml	150 ml	156 ml	162 ml	165 ml	90 ml	80 ml	80 ml	78 ml	70 ml
125 ml	135 ml	160 ml	160 ml	170 ml	150 ml	128 ml	105 ml	105 ml	104 ml
76 ml	97 ml	142 ml	166 ml	200 ml	165 ml	182 ml	180 ml	180 ml	145 ml
95 ml	100 ml	110 ml	125 ml	156 ml	185 ml	161 ml	151 ml	142 ml	130 ml
77 ml	93 ml	110 ml	115 ml	185 ml	151 ml	149 ml	145 ml	115 ml	110 ml

Ensayo N°05		Presión : metros		1.8 bar
Fecha del ensayo		28/08/25	Descarga del Aspersor : m³/h	
Inicio del ensayo		09:30 am	Velocidad del rot. del dispersor : rev/min	
Duración del ensayo		120 min	Altura del elevador : cm	
Velocidad del viento inicial		0.67 m/seg	Espaciamiento de los envases : m/m	
Límite de velocidad del viento			Tipo de dispersor : NAANDANJAIN	
Temperatura inicial		20.50 °C	SD-U plástico circular 1/2"	
Humedad relativa inicial		51.70 %		

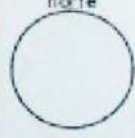
RESULTADOS DEL ENSAYO				
metro x metro	mm / hora	Cu - %	Observación	Direc. del viento norte 
Espaciamiento	Precipitación	Coef. de uniform.		
Dibujo :		Lugar del ensayo : Acosvinchos		
		Método del ensayo : Método de Christiansen		

Figura 82. *Ficha de evaluación de Acosvinchos.*

[illegible]

Figura 83. *Ficha de evaluación de Casaorcco (adicional).*

Ensayo N°07		Presión	: metran	3.1 bar
Fecha del ensayo	18/10/25	Descarga del Aspersor	: m³/h	2.16 m³/hr
Inicio del ensayo	hora 11:00 am	Velocidad del rot. del aspersor	: rev/min	1.42 rev/min
Duración del ensayo	: minuto 120 min	Altura del elevador	: cm	1.40 cm
Velocidad del viento inicial	: m/seg 0.80 m/seg	Espaciamiento de los envases	: m/m	4x4 m/m
Límite de velocidad del viento	: m/seg			
Temperatura inicial	: °C 16.80 °C			
Humedad relativa inicial	: % 52.10 %			

metro a metro	mm / hoja	Cu - %	Observacion	Direc. del viento norte
Espaciamiento	Precipitacion	Coef. de uniform.		
Dibujo :	Lugar del ensayo : Santa Bárbara (adicional)			
	Metodo del ensayo :			

Figura 84. *Ficha de evaluación de Santa Bárbara (adicional).*

Ensayo N°08		Presión	: metros	2.2 bar
Fecha del ensayo	23/10/25	Descarga del Aspensor	: m³/h	2.25 m³/hr
Inicio del ensayo	hora 09:30 am	Velocidad del rot. del aspensor	: rev/min	1.75 rev/min
Duración del ensayo	: minuto 120 min	Altura del elevador	: cm	100 cm
Velocidad del viento inicial	: m/seg 1.10 m/seg	Espaciamiento de los envases	: m/m	3x3 m/m
Límite de velocidad del viento	: m/seg			
Temperatura inicial	: °C 18.90 °C			
Humedad relativa inicial	: % 66.80 %			

metro x metro	mm / hora	Cu = %	Observacion	Dirc. del viento norte
Espaciamento	Precipitacion	Coef. de uniform.		

Dibujo :	Lugar del ensayo :	Acosvinchos (adicional)
	Método del ensayo :	

Figura 85. *Fichas de evaluación de Acosvinchos (adicional).*

ESQUEMAS HIDRÁULICOS DE LOS COMITES DE RIEGO



Figura 86. Esquema hidráulico de Casaorcco.

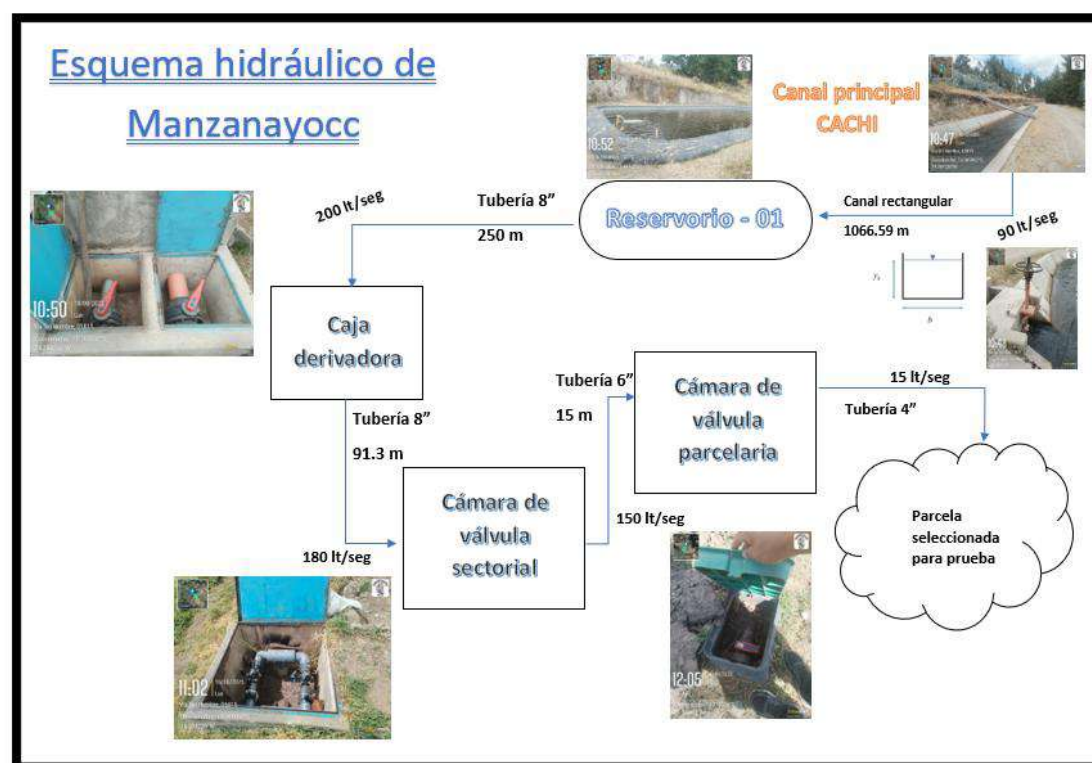


Figura 87. Esquema hidráulico de Manzanayocc.

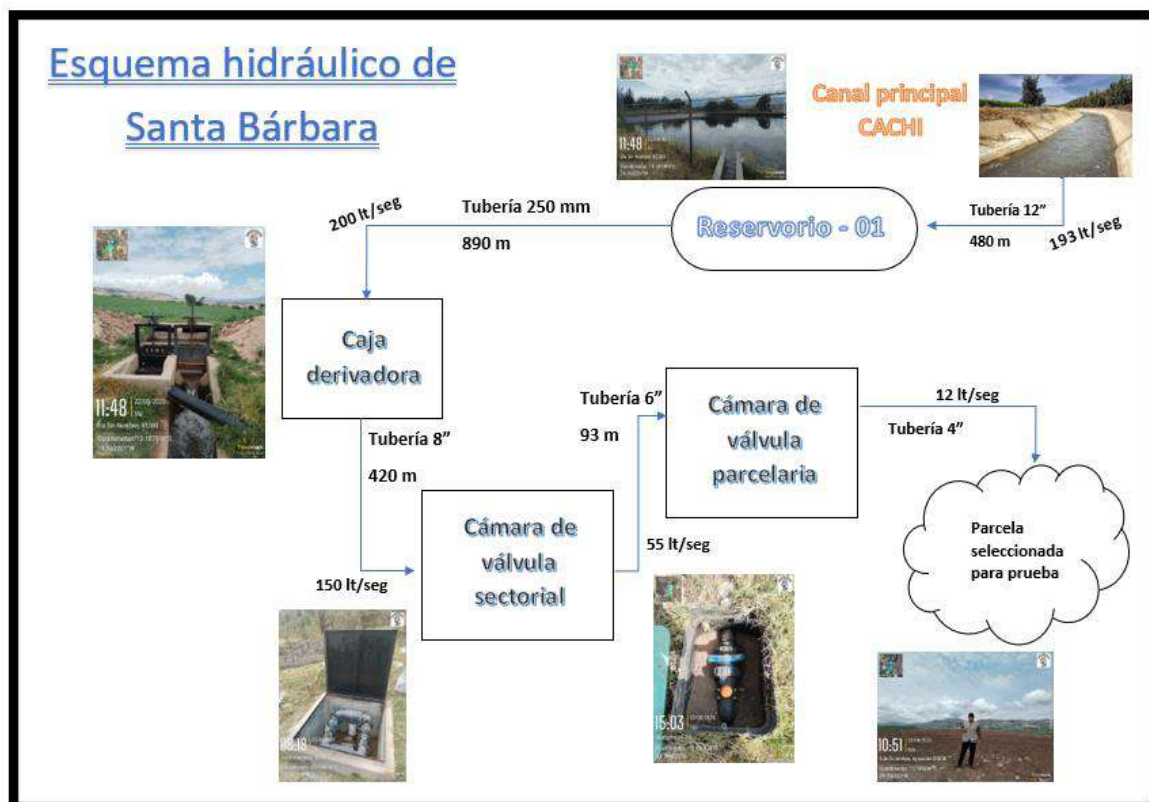


Figura 88. Esquema hidráulico de Santa Bárbara.



Figura 89. Esquema hidráulico de Cusibamba.



Figura 90. Esquema hidráulico de Acosvinchos.

ASPERSORES DE CAMPO

Serie 70

Los aspersores de impacto de círculo completo Serie 70 distribuyen agua a caudales más altos sobre un gran diámetro.

CARACTERÍSTICAS

- Modelos de doble boquilla y dispersión dirigida disponibles
- Duran más y cuestan menos que los aspersores de latón
- Llave hexagonal incorporado para un mantenimiento sencillo en el campo.
- Conexiones: 1" NPT macho, 1" BSPT macho también disponible
- Caudales: de 8,66 a 39,1 gpm (1967 a 8881 l/h)
- Presiones de funcionamiento: de 40 a 70 psi (2,76 a 4,83 bar) años

TAMBIÉN DISPONIBLE CON CONEXIÓN BSPT

Figura 91. Aspersor de campo en Casaorcco.

Serie 30



Los aspersores de impacto Serie 30 de Senninger aplican caudales más bajos que las series 40 o 50.



Vista de la boquilla dispersora 3023-2

CARACTERÍSTICAS

- Amplia gama de combinaciones de boquillas y venas para una excelente distribución a cualquier presión operativa
- Llave hexagonal incorporado para un mantenimiento sencillo en el campo
- Modelo de 23° con doble boquilla disponible
- Dos trayectorias disponibles:
 - 12° - ideal para el riego subfoliar
 - 23° - alcance máximo en sistemas invertidos
- Conexión: 3/4" NPT macho (hembra también disponible)
- Caudales: de 1,84 a 6,42 gpm (418 a 1458 l/h)
- Presiones de funcionamiento: de 30 a 50 psi (2,07 a 3,45 bar)

Figura 92. Aspersor de campo en Manzanayocc.

• ASPERSOR DE PLÁSTICO SECTORIAL 3/4"



DESCRIPCIÓN

Aspersor sectorial de plástico, proyectan el agua en forma continua a la planta y a su vez disponen de elementos giratorios que distribuyen el agua en la superficie de forma óptima.

MATERIAL	MARCA	CÓDIGO	CAJA	CAUDAL DE AGUA	PRESIÓN DE TRABAJO	MÁX. RADIO
PP	QUIVER	QV-S30-1	100	860 - 3430 L/H	2.0 - 5.0 BAR	12 - 19 MTS



Figura 93. Aspersor de campo en Santa Bárbara.



IESTA

AKONA
IRRIGATION SYSTEMS

Características

- Debido a los muelles de acero inoxidable de alta resistencia, posee una excelente rotación e irrigación incluso a bajas presiones (1,5 bares).
- Con arandelas de teflón duraderas para lograr un menor desgaste y mantener un alto rendimiento de rotación.
- Alta resistencia a los rayos UV.
- Radio de 12-16 metros. Círculo completo de 24-32 metros.
- Caudal de 1200-2500lt/h.
- Para un ahorro máximo de energía y una dispersión uniforme del agua, la presión de trabajo sugerida es de 2 a 3 bares.







Figura 94. *Aspersor de campo en Cusibamba.*

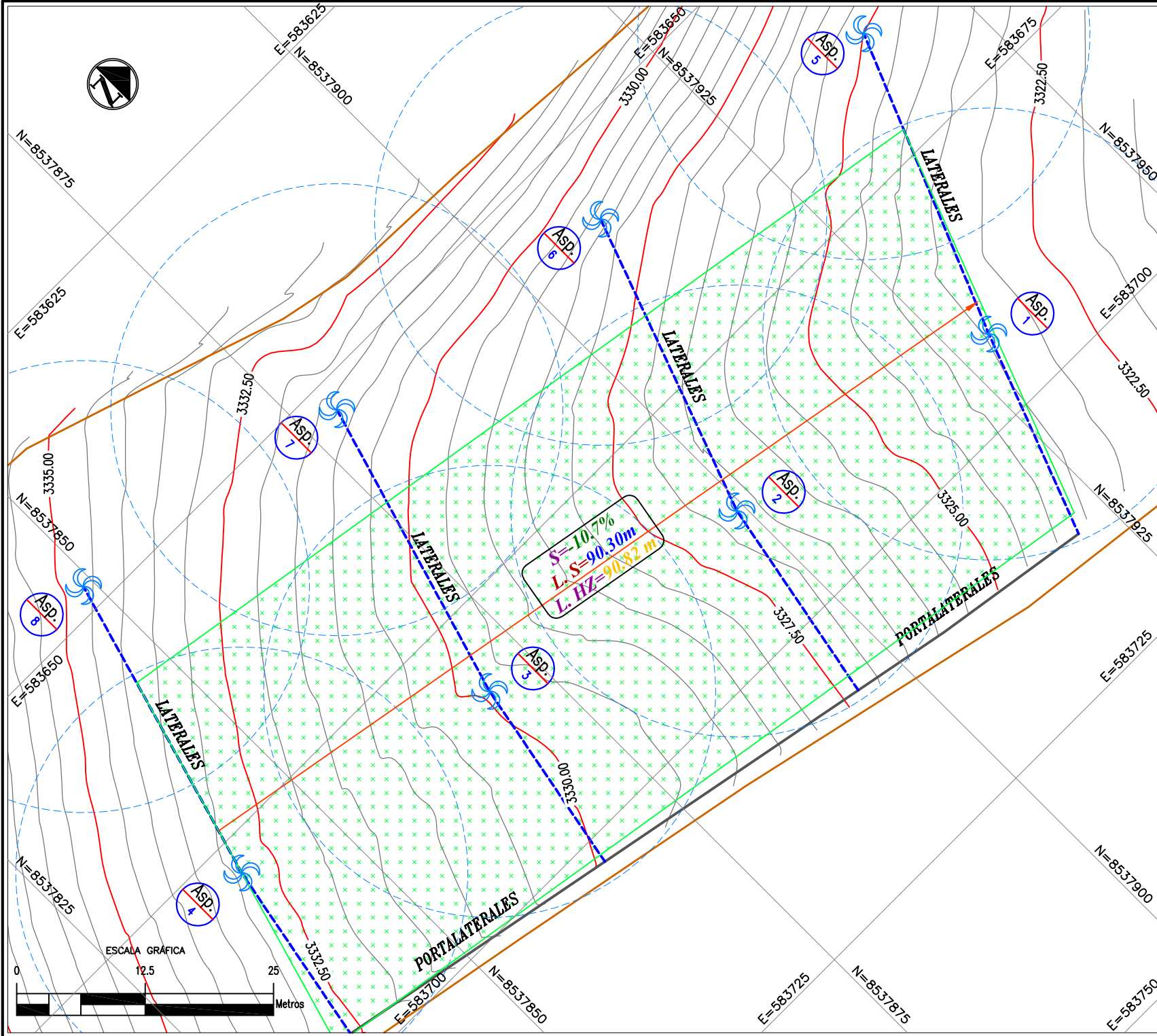


Figura 95. *Aspersor de campo en Acosvinchos.*

ANEXO D:

PLANOS TOPOGRÁFICOS

Y MAPAS DE ISOYETAS



PLANO TOPOGRÁFICO-PARCELA DE ENSAYO:
COMITÉ DE RIEGO CASAORCCO
ESCALA 1/500

**CARACTERÍSTICAS DEL EMISOR Y SU
DISTRIBUCIÓN EN CAMPO**

SENNINGER 7025 - 23°

Dist. entre emisores	32.00 m
Dist. entre laterales	30.00 m
Diámetro mojado nominal	44.00 m
Porcentaje de solape	55.00 %
Boquilla	7.14 * 3.18 mm*mm
Presión de trabajo nominal	42.00 mca
Caudal nominal	4,680.00 Lt/hr
Pluviósidad	4.88 mm/hr

LEYENDA

Límite del predio evaluado	
Portallaterales	
Matriz de la red de distribución	
Laterales	
Curvas de nivel mayores	
Curvas de nivel menores	
Alcance teórico de los aspersores	
Área efectiva ensayada	



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN
CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

TESIS:
“EVALUACIÓN DEL COEFICIENTE DE
UNIFORMIDAD DE CHRISTIANSEN EN CINCO
COMITÉS DE RIEGO POR ASPERSIÓN, PROVINCIA
HUAMANGA - AYACUCHO, 2025”

PLANO:
TOPOGRÁFICO CR CASAORCCO

DIBUJO:
Bach. NEMER HUARIPAUCAR MORALES

DATUM:
COORDENADAS UTM WGS 84
ZONA 18 - S

FECHA:
AGOSTO 2026

ESCALA:
INDICADA

LAMINA.
**TOP
3
5**



E=577050

E=577075

E=577100

E=577125

N=8522950

N=8522950

N=8522925

N=8522925

N=8522900

N=8522900

E=577050

E=577075

E=577100

E=577125

N=8522875

N=8522875

PLANO TOPOGRÁFICO-PARCELA DE ENSAYO:
COMITÉ DE RIEGO MANZANAYOCC
ESCALA 1/500

CARACTERÍSTICAS DEL EMISOR**SENNINGER 3023 - 2**

Dist. entre emisores	18.00 m
Dist. entre laterales	19.00 m
Diámetro mojado nominal	25.00 m
Porcentaje de solape	56.00 %
Boquilla	3.97 * 1.98 mm*mm
Presión de trabajo nominal	26.00 mca
Caudal nominal	1,253.00 Lt/hr
Pluvisidad	3.66 mm/hr

LEYENDA

Límite del predio evaluado	
Portalaterales	
Matriz de la red de distribución	
Laterales	
Curvas de nivel mayores	
Curvas de nivel menores	
Alcance teórico de los aspersores	
Área efectiva ensayada	



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN
CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

TESIS:
"EVALUACIÓN DEL COEFICIENTE DE
UNIFORMIDAD DE CHRISTIANSEN EN CINCO
COMITÉS DE RIEGO POR ASPERSIÓN, PROVINCIA
HUAMANGA - AYACUCHO, 2025"

PLANO:
TOPOGRÁFICO CR MANZANAYOCC

DIBUJO:
Bach. NEMER HUARIPAUCAR MORALES

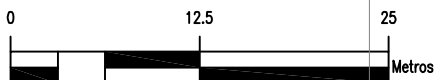
DATUM:
COORDENADAS UTM WGS 84
ZONA 18 - S

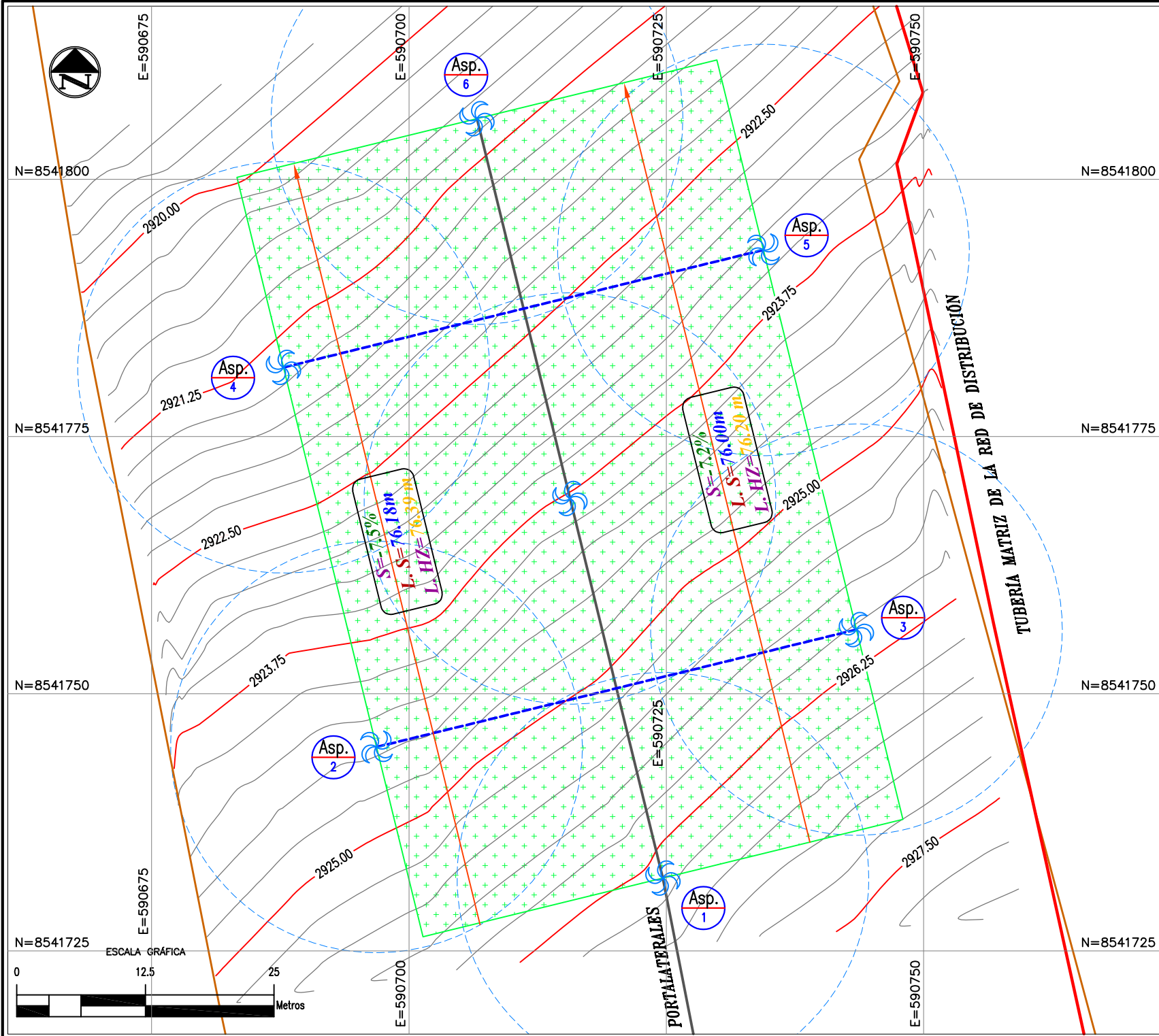
FECHA:
AGOSTO 2026

ESCALA:
INDICADA

LAMINA.
**TOP
2
5**

ESCALA GRÁFICA





PLANO TOPOGRÁFICO-PARCELA DE ENSAYO:
COMITÉ DE RIEGO SANTA BÁRBARA
ESCALA 1/500

CARACTERÍSTICAS DEL EMISOR Y SU DISTRIBUCIÓN EN CAMPO	
VYR - 66	
Dist. entre emisores	24.00 m
Dist. entre laterales	38.00 m
Diámetro mojado nominal	40.00 m
Porcentaje de solape	10.00 %
Boquilla	4.40 * 2.40 mm*mm
Presión de trabajo nominal	32.00 mca
Caudal nominal	2.520.00 Lt/hr
Pluvisidad	2.31 mm/hr

LEYENDA

Límite del predio evaluado	
Portalaterales	
Matriz de la red de distribución	
Laterales	
Curvas de nivel mayores	
Curvas de nivel menores	
Alcance teórico de los aspersores	
Área efectiva ensayada	



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN
CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

TESIS:
“EVALUACIÓN DEL COEFICIENTE DE
UNIFORMIDAD DE CHRISTIANSEN EN CINCO
COMITÉS DE RIEGO POR ASPERSIÓN, PROVINCIA
HUAMANGA - AYACUCHO, 2025”

PLANO:
TOPOGRÁFICO CR SANTA BÁRBARA

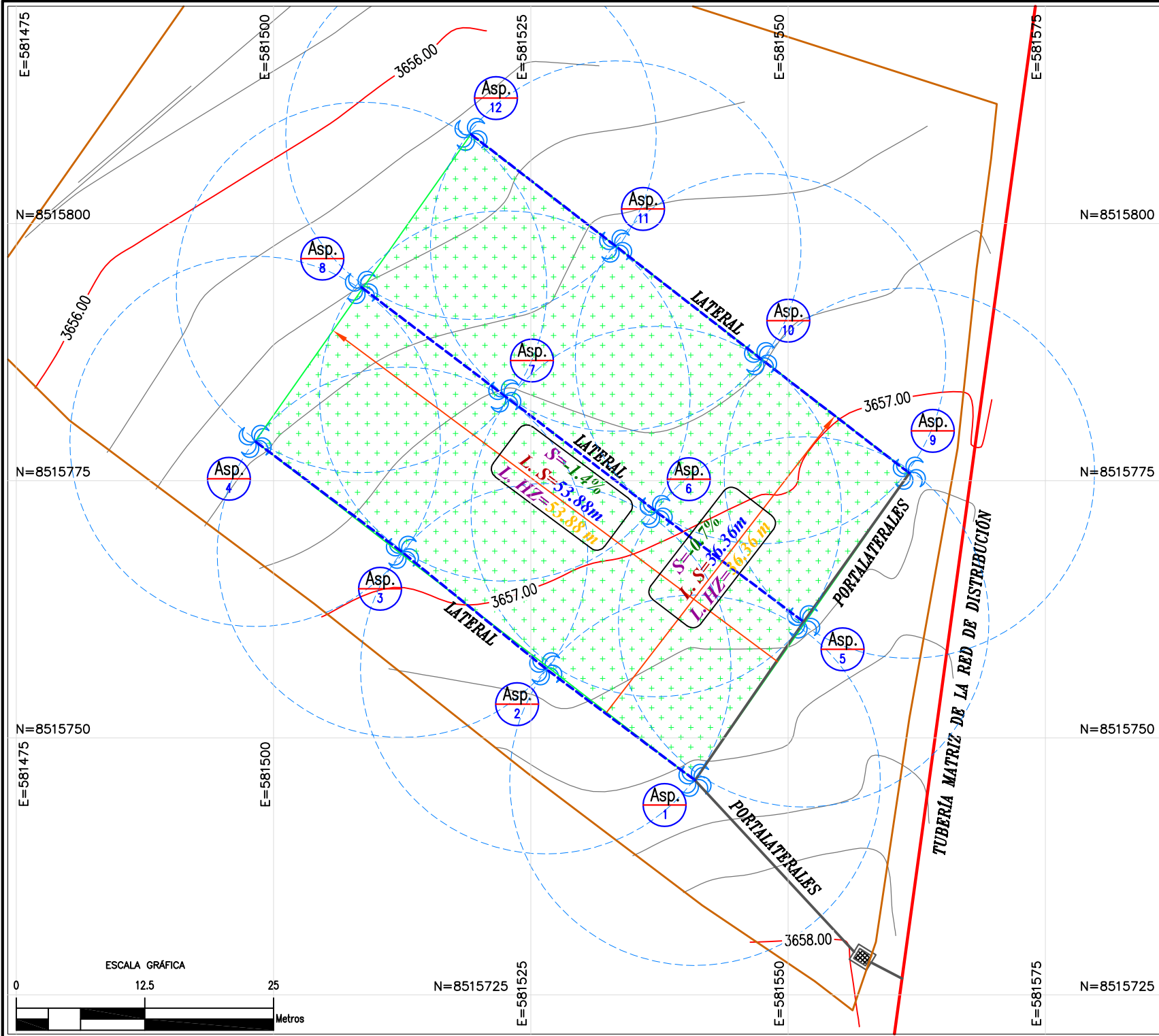
DIBUJO:
Bach. NEMER HUARIPAUCAR MORALES

DATUM:
COORDENADAS UTM WGS 84
ZONA 18 - S

FECHA:
AGOSTO 2026

ESCALA:
INDICADA

LAMINA.
TOP
5
5



PLANO TOPOGRÁFICO
PARCELA DE ENSAYO: COMITÉ DE RIEGO CUSIBAMBA
ESCALA 1/500

CARACTERÍSTICAS DEL EMISOR		
AKONA (KA - 30)		
Dist. entre emisores	18.00	m
Dist. entre laterales	18.00	m
Diámetro mojado nominal	36.00	m
Porcentaje de solape	100.00	%
Boquilla	5.00 * 3.20	mm*mm
Presión de trabajo nominal	30.00	mca
Caudal nominal	2,160.00	Lt/hr
Pluviosidad	6.67	mm/hr

LEYENDA

- Límite del predio evaluado
- Portalaterales
- Matriz de la red de distribución
- Laterales
- Curvas de nivel mayores
- Curvas de nivel menores
- Alcance teórico de los aspersores
- Área efectiva ensayada

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN
CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

TESIS:
“EVALUACIÓN DEL COEFICIENTE DE
UNIFORMIDAD DE CHRISTIANSEN EN CINCO
COMITÉES DE RIEGO POR ASPERSIÓN, PROVINCIA
HUAMANGA - AYACUCHO, 2025”

PLANO:
TOPOGRÁFICO CR CUSIBAMBA

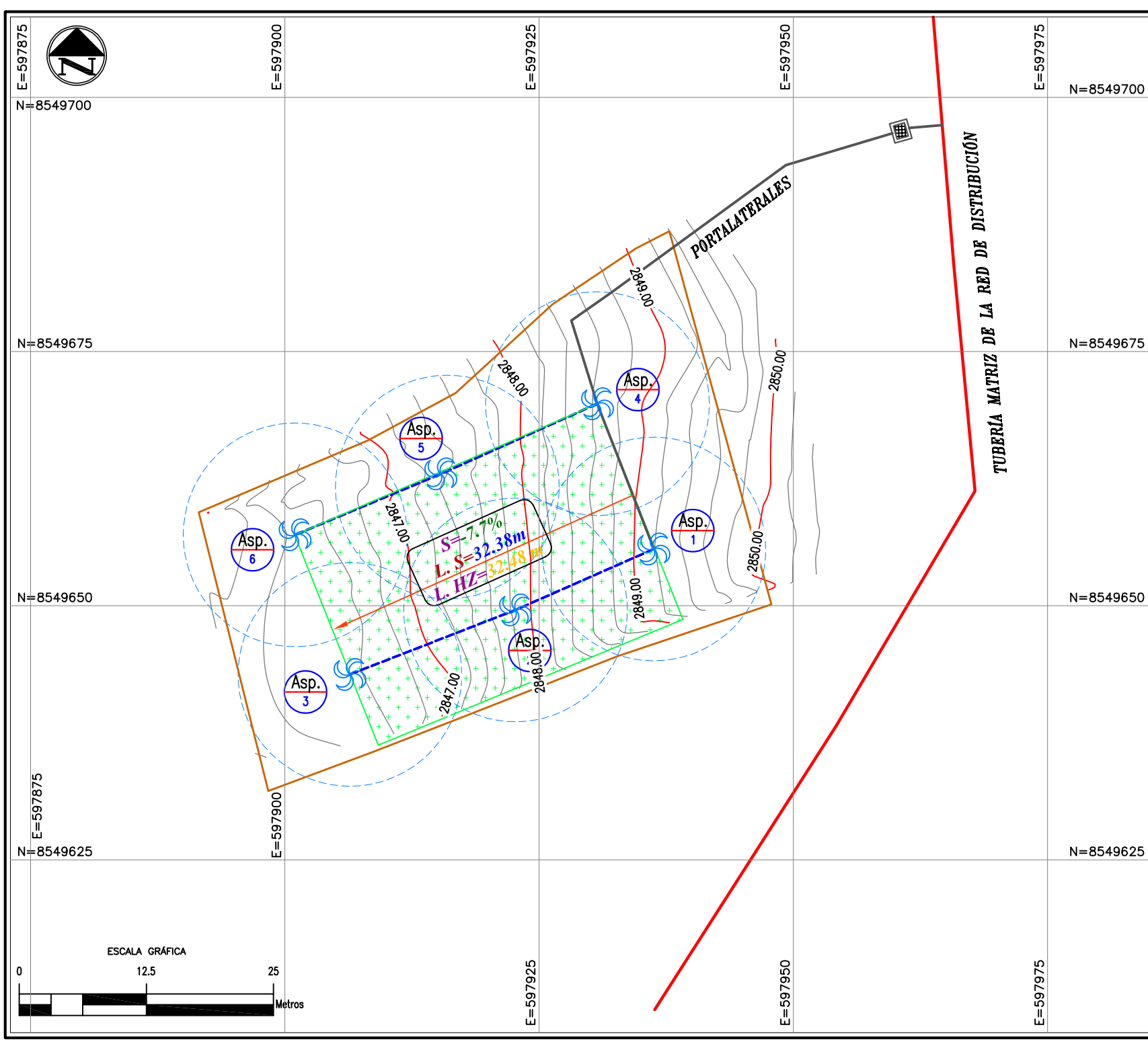
DIBUJO:
Bach. NEMER HUARIPAUCAR MORALES

DATUM:
COORDENADAS UTM WGS 84
ZONA 18 - S

FECHA:
AGOSTO 2026

ESCALA:
INDICADA

LAMINA.
TOP
1
5



PLANO TOPOGRÁFICO-PARCELA DE ENSAYO:
COMITÉ DE RIEGO ACOS VINCHOS
ESCALA 1/500

CARACTERÍSTICAS DEL EMISOR Y SU DISTRIBUCIÓN EN CAMPO	
NAANDANJAIN 5022 SD-U	
Dist. entre emisores	15.00 m
Dist. entre laterales	15.00 m
Diámetro mojado nominal	20.00 m
Porcentaje de solape	50.00 %
Boquilla	2.50 * 1.80 mm*mm
Presión de trabajo nominal	18.00 mca
Caudal nominal	2,088.00 Lt/hr
Pluvisidad	9.28 mm/hr

LEYENDA

- Límite del predio evaluado
- Portalaterales
- Matriz de la red de distribución
- Laterales
- Curvas de nivel mayores
- Curvas de nivel menores
- Alcance teórico de los aspersores
- Área efectiva ensayada

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN
CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

TESIS:
“EVALUACIÓN DEL COEFICIENTE DE
UNIFORMIDAD DE CHRISTIANSEN EN CINCO
COMITÉS DE RIEGO POR ASPERSIÓN, PROVINCIA
HUAMANGA - AYACUCHO, 2025”

PLANO:
TOPOGRÁFICO CR ACOS VINCHOS

DIBUJO:
Bach. NEMER HUARIPAUCAR MORALES

DATUM:
COORDENADAS UTM WGS 84
ZONA 18 - S

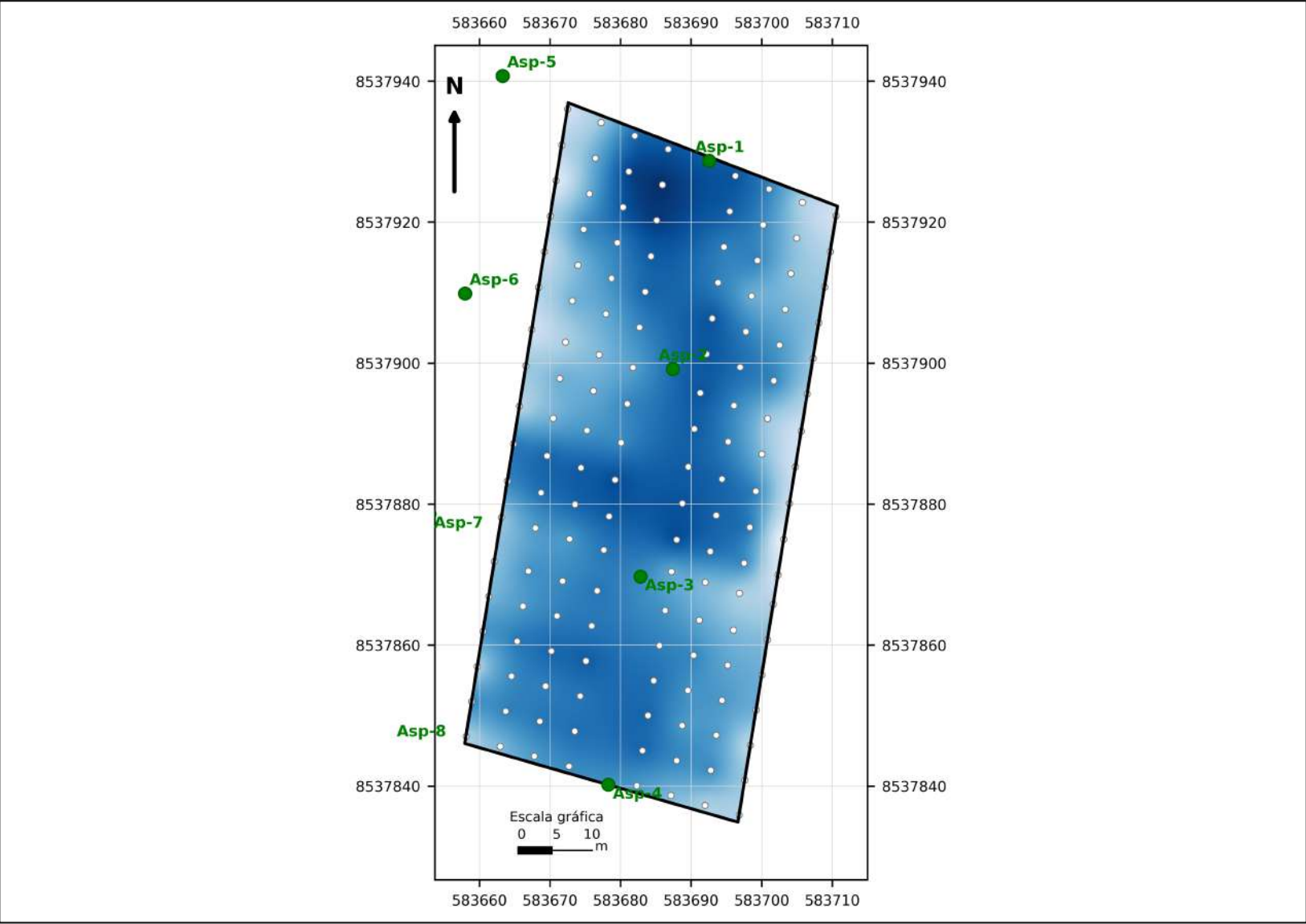
FECHA:
AGOSTO 2026

ESCALA:
INDICADA

LAMINA.
**TOP
4
5**

MAPA DE DISTRIBUCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN DE PRUEBA

Ensayo de uniformidad de riego por aspersión - Casaorcco
Determinación del Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (CUC)



RESULTADOS DEL ENSAYO

Precipitación media	8.87 mm
Precipitación máxima	13.85 mm
Precipitación mínima	2.04 mm
Desviación media	2.06 mm
Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (CUC)	77 %

INTERPRETACIÓN DEL CUC

Bueno

Fuente: Keller, J., & Merriam, J. L. (1978).
Farm irrigation system evaluation: a guide for management.
Utah: Utah State University.

LEYENDA

Elementos del ensayo

- Aspersor
- Coleктор pluviométrico
- Límite de parcela ensayada

Precipitación acumulada (mm)

- 13.9 mm
- 10.9 mm
- 7.9 mm
- 5.0 mm
- 2.0 mm



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

TESIS:
"EVALUACIÓN DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE CHRISTIANSEN
EN CINCO COMITÉS DE RIEGO POR ASPERSIÓN, PROVINCIA
HUAMANGA - AYACUCHO, 2025"

MAPA DE DISTRIBUCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN DE PRUEBA

PARCELA ENSAYADA - CASAORCCO

Sistema de coordenadas:	UTM
Datum:	WGS 84
Zona:	18 Sur
Escala:	Gráfica
Fecha del ensayo:	13/08/2025

Lámina:

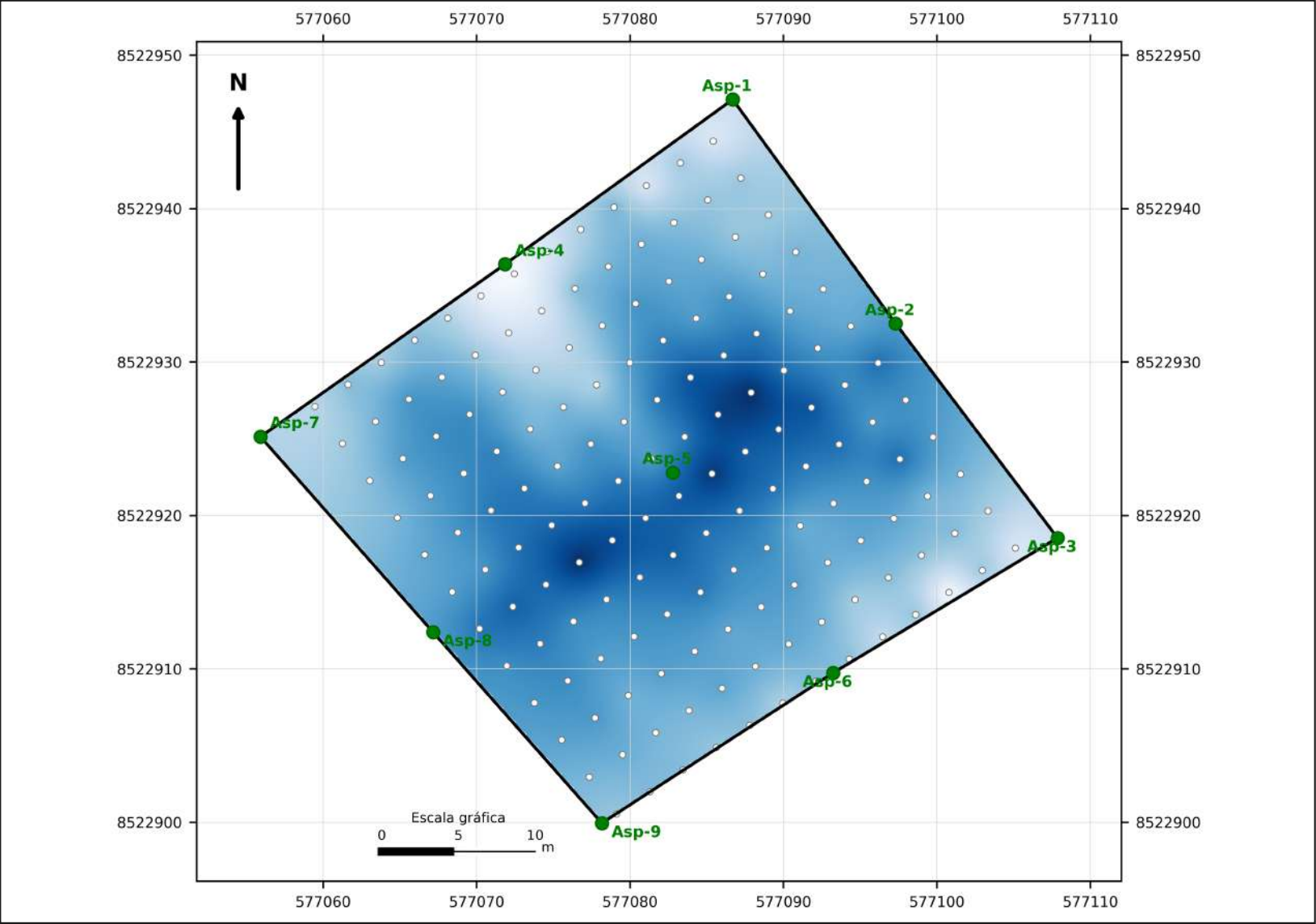
ISO-03

Elaboración:

Propia

MAPA DE DISTRIBUCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN DE PRUEBA

Ensayo de uniformidad de riego por aspersión - Manzanayocc
Determinación del Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (CUC)



RESULTADOS DEL ENSAYO

Precipitación media	9.05 mm
Precipitación máxima	14.26 mm
Precipitación mínima	2.85 mm
Desviación media	1.67 mm
Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (CUC)	82 %

INTERPRETACIÓN DEL CUC

Bueno

Fuente: Keller, J., & Merriam, J. L. (1978).
Farm irrigation system evaluation: a guide for management.
Utah: Utah State University.

LEYENDA

Elementos del ensayo

- Aspersor
- Colector pluviométrico
- Límite de parcela ensayada

Precipitación acumulada (mm)

- 14.3 mm
- 11.4 mm
- 8.6 mm
- 5.7 mm
- 2.9 mm



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

TESIS:
"EVALUACIÓN DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE CHRISTIANSEN
EN CINCO COMITÉS DE RIEGO POR ASPERSIÓN, PROVINCIA
HUAMANGA - AYACUCHO, 2025"

MAPA DE DISTRIBUCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN DE PRUEBA

PARCELA ENSAYADA - MANZANAYOCC

Sistema de coordenadas:	UTM
Datum:	WGS 84
Zona:	18 Sur
Escala:	Gráfica
Fecha del ensayo:	18/08/2025

Lámina:

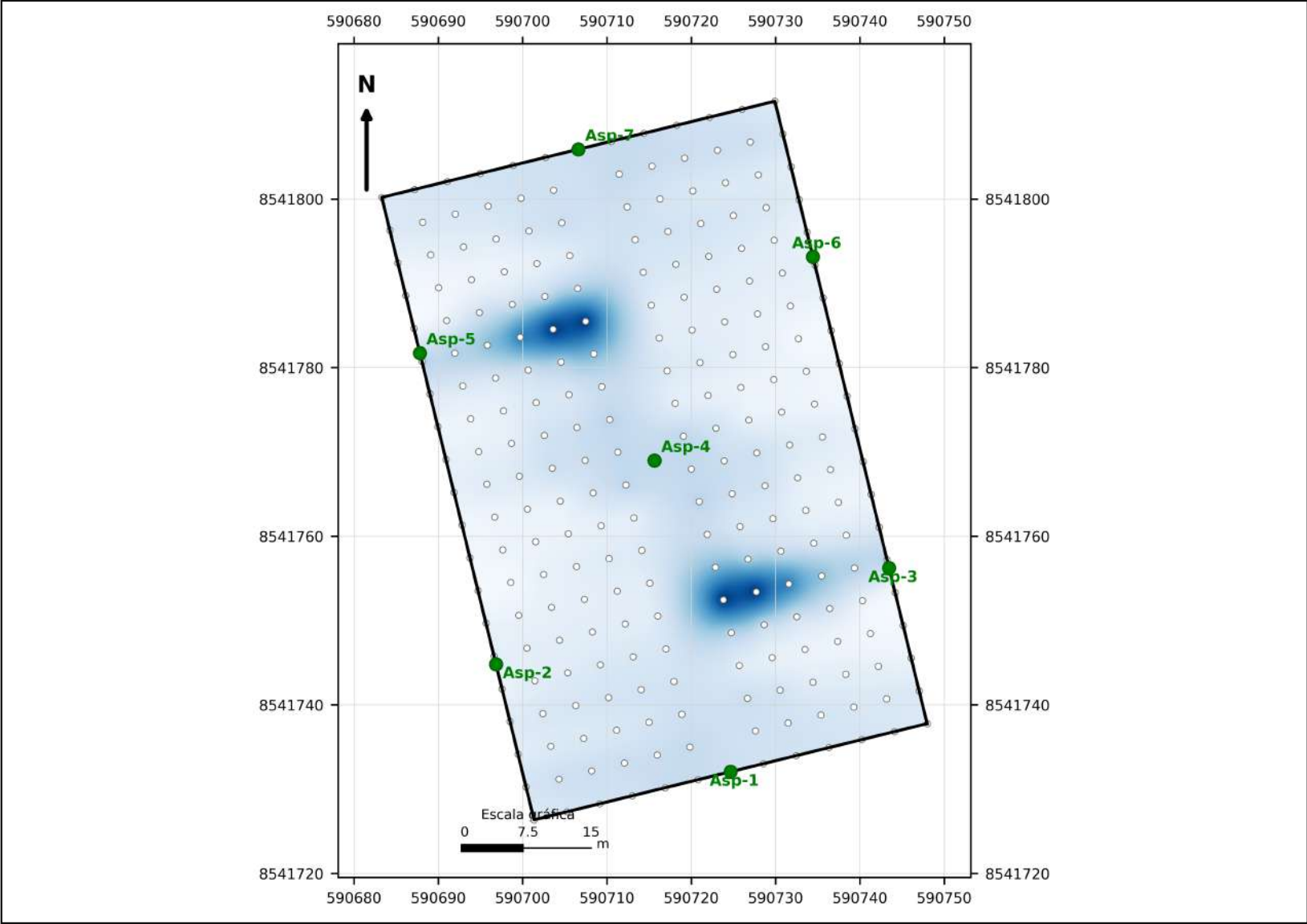
ISO-02

Elaboración:

Propia

MAPA DE DISTRIBUCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN DE PRUEBA

Ensayo de uniformidad de riego por aspersión - Santa Bárbara
Determinación del Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (CUC)



RESULTADOS DEL ENSAYO

Precipitación media	9.71 mm
Precipitación máxima	37.89 mm
Precipitación mínima	4.32 mm
Desviación media	2.85 mm
Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (CUC)	71 %

INTERPRETACIÓN DEL CUC

Regular / Marginal

Fuente: Keller, J., & Merriam, J. L. (1978).
Farm irrigation system evaluation: a guide for management.
Utah: Utah State University.

LEYENDA

Elementos del ensayo

- Aspersor
- Colector pluviométrico
- Límite de parcela ensayada

Precipitación acumulada (mm)

- 37.9 mm
- 29.5 mm
- 21.1 mm
- 12.7 mm
- 4.3 mm



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

TESIS:
"EVALUACIÓN DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE CHRISTIANSEN
EN CINCO COMITÉS DE RIEGO POR ASPERSIÓN, PROVINCIA
HUAMANGA - AYACUCHO, 2025"

MAPA DE DISTRIBUCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN DE PRUEBA

PARCELA ENSAYADA - SANTA BÁRBARA

Sistema de coordenadas:	UTM
Datum:	WGS 84
Zona:	18 Sur
Escala:	Gráfica
Fecha del ensayo:	23/08/2025

Lámina:

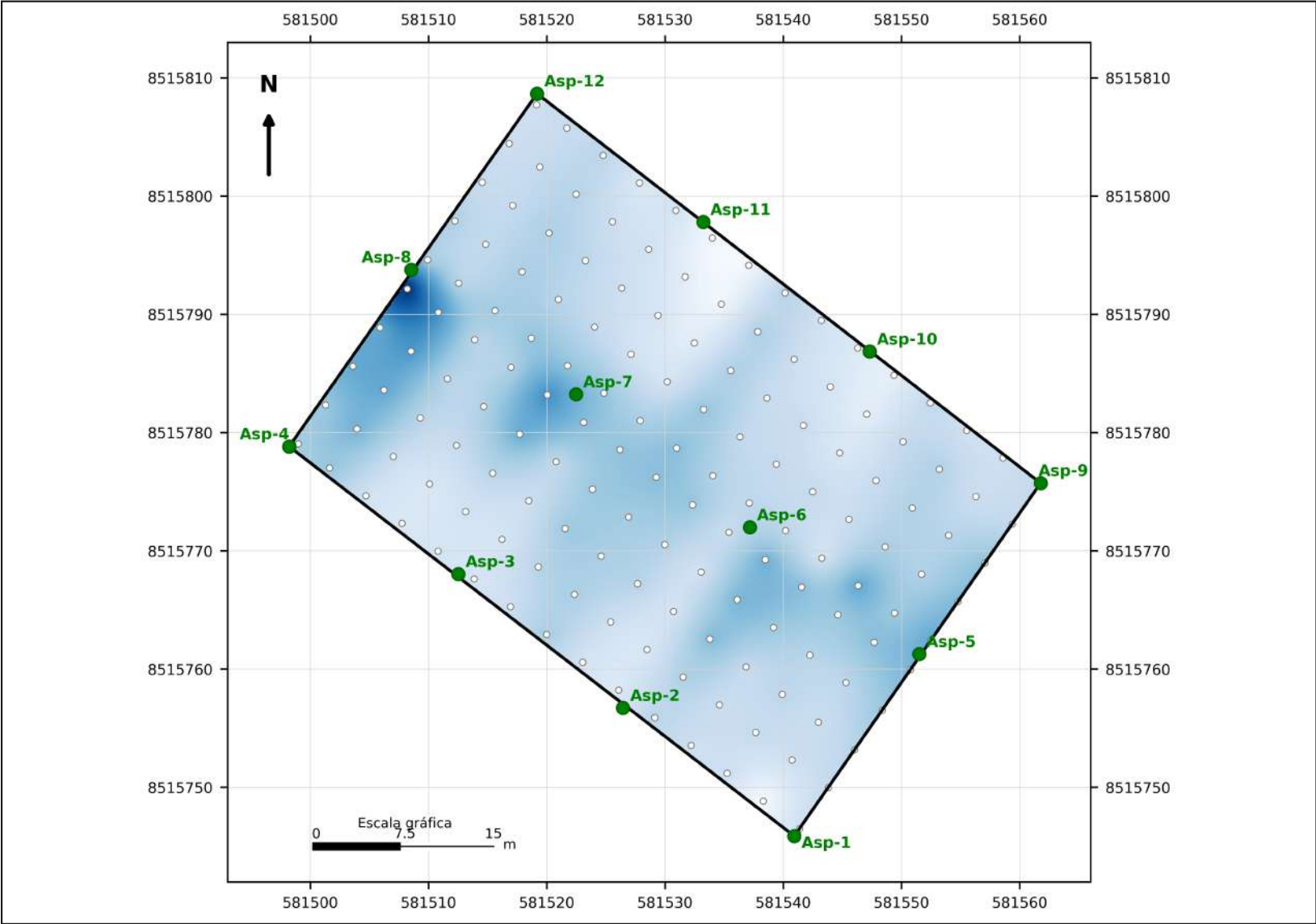
ISO-05

Elaboración:

Propia

MAPA DE DISTRIBUCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN DE PRUEBA

Ensayo de uniformidad de riego por aspersión - Cusibamba
Determinación del Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (CUC)



RESULTADOS DEL ENSAYO

Precipitación media	9.69 mm
Precipitación máxima	23.63 mm
Precipitación mínima	4.07 mm
Desviación media	1.86 mm

Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (CUC) **81 %**

INTERPRETACIÓN DEL CUC

Bueno

Fuente: Keller, J., & Merriam, J. L. (1978).
Farm irrigation system evaluation: a guide for management.
Utah: Utah State University.

LEYENDA

Elementos del ensayo

- Aspersor
- Colector pluviométrico
- Límite de parcela ensayada

Precipitación acumulada (mm)

- 23.5 mm
- 18.7 mm
- 13.8 mm
- 9.0 mm
- 4.1 mm



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

TESIS:
"EVALUACIÓN DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE CHRISTIANSEN
EN CINCO COMITÉS DE RIEGO POR ASPERSIÓN, PROVINCIA
HUAMANGA - AYACUCHO, 2025"

MAPA DE DISTRIBUCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN DE PRUEBA

PARCELA ENSAYADA - CUSIBAMBA

Sistema de coordenadas:	UTM
Datum:	WGS 84
Zona:	18 Sur
Escala:	Gráfica
Fecha del ensayo:	25/08/2025

Lámina:

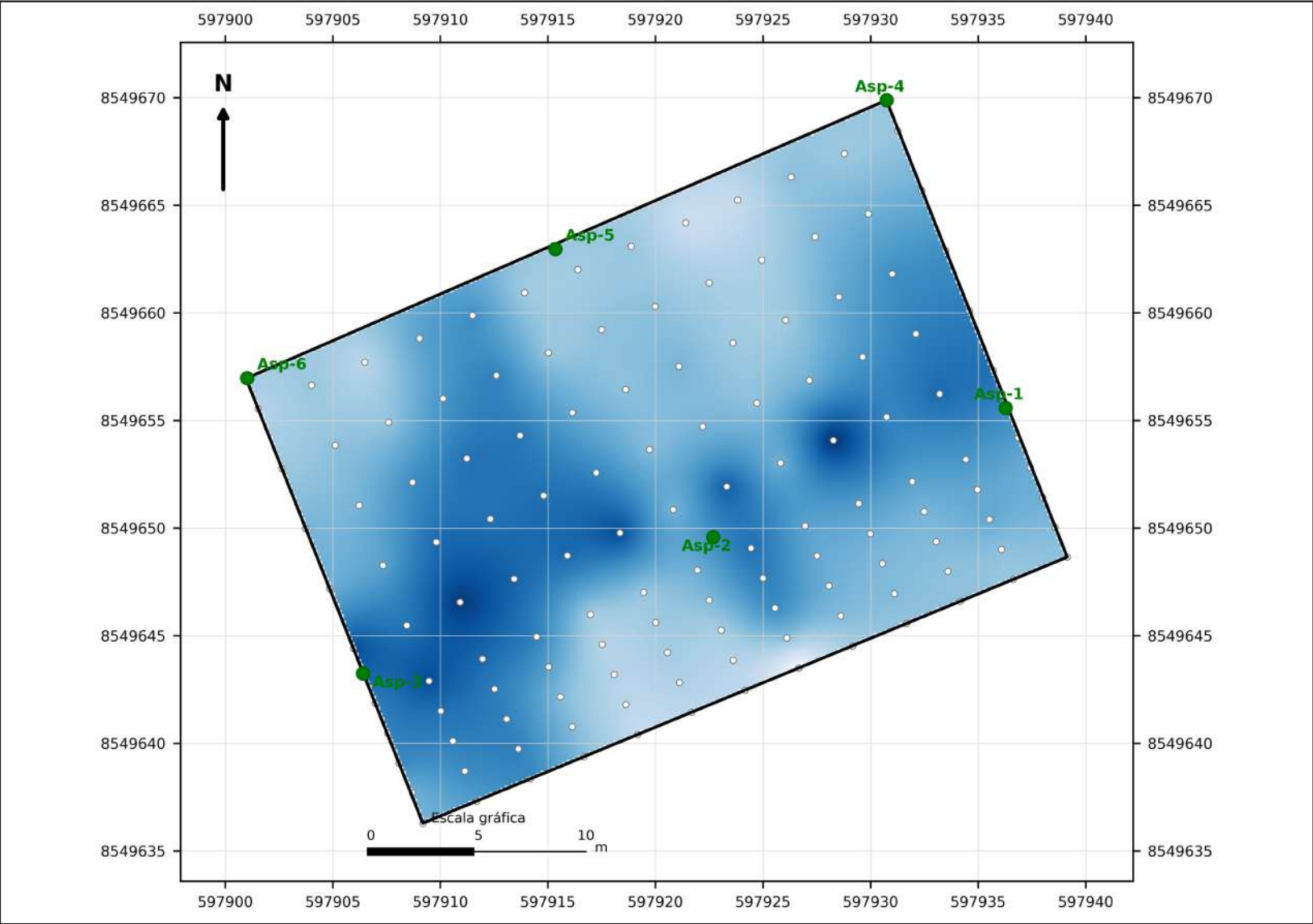
ISO-01

Elaboración:

Propia

MAPA DE DISTRIBUCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN DE PRUEBA

Ensayo de uniformidad de riego por aspersión - Acosvinchos
Determinación del Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (CUC)



RESULTADOS DEL ENSAYO

Precipitación media	9.73 mm
Precipitación máxima	16.87 mm
Precipitación mínima	2.04 mm
Desviación media	2.10 mm
Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (CUC)	78 %

INTERPRETACIÓN DEL CUC

Bueno

Fuente: Keller, J., & Merriam, J. L. (1978).
Farm irrigation system evaluation: a guide for management.
Utah: Utah State University.

LEYENDA

Elementos del ensayo

- Aspersor
- Colector pluviométrico
- Límite de parcela ensayada

Precipitación acumulada (mm)

- 16.9 mm
- 13.2 mm
- 9.5 mm
- 5.7 mm
- 2.0 mm



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

TESIS:
"EVALUACIÓN DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE CHRISTIANSEN
EN CINCO COMITÉS DE RIEGO POR ASPERSIÓN, PROVINCIA
HUAMANGA - AYACUCHO, 2025"

MAPA DE DISTRIBUCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN DE PRUEBA

PARCELA ENSAYADA - ACOSVINCHOS

Sistema de coordenadas:	UTM
Datum:	WGS 84
Zona:	18 Sur
Escala:	Gráfica
Fecha del ensayo:	28/08/2025

Lámina:

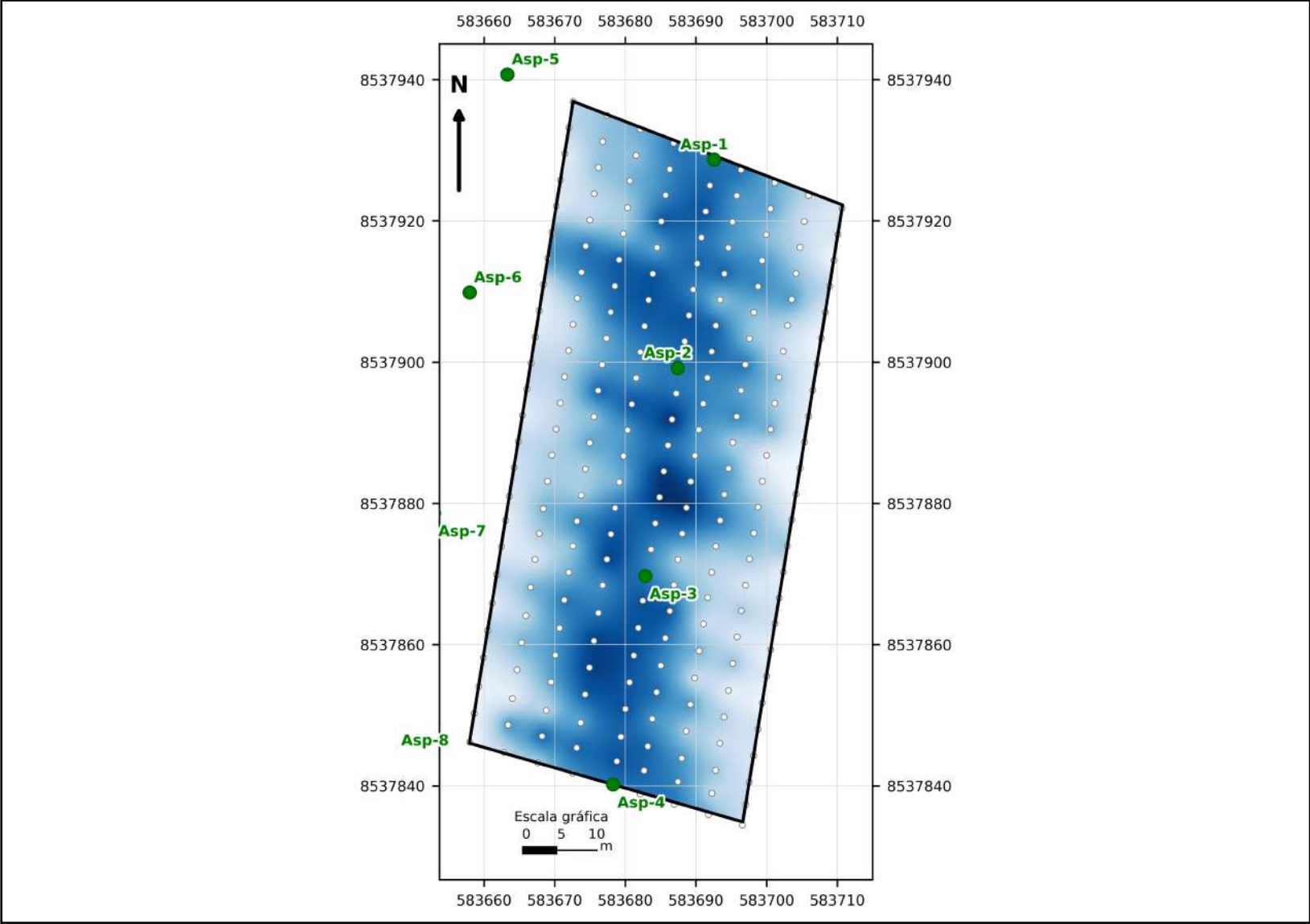
ISO-04

Elaboración:

Propia

MAPA DE DISTRIBUCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN DE PRUEBA ADICIONAL

Ensayo de uniformidad de riego por aspersión - Casaorcco
Determinación del Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (CUC)



RESULTADOS DEL ENSAYO

Precipitación media	8.13 mm
Precipitación máxima	11.41 mm
Precipitación mínima	5.22 mm
Desviación media	1.45 mm

Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (CUC) **82.3 %**

INTERPRETACIÓN DEL CUC

Bueno

Fuente: Keller, J., & Merriam, J. L. (1978).
Farm irrigation system evaluation: a guide for management.
Utah: Utah State University.

LEYENDA

Elementos del ensayo

- Aspersor
- Colector pluviométrico
- Límite de parcela ensayada

Precipitación acumulada (mm)

- 11.4 mm
- 9.9 mm
- 8.3 mm
- 6.8 mm
- 5.2 mm



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

TESIS:
"EVALUACIÓN DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE CHRISTIANSEN
EN CINCO COMITÉS DE RIEGO POR ASPERSIÓN, PROVINCIA
HUAMANGA - AYACUCHO, 2025"

MAPA DE DISTRIBUCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN
DE PRUEBA ADICIONAL

PARCELA ENSAYADA - CASAORCCO

Sistema de coordenadas:	UTM
Datum:	WGS 84
Zona:	18 Sur
Escala:	Gráfica
Fecha del ensayo:	15/10/2025

Lámina:

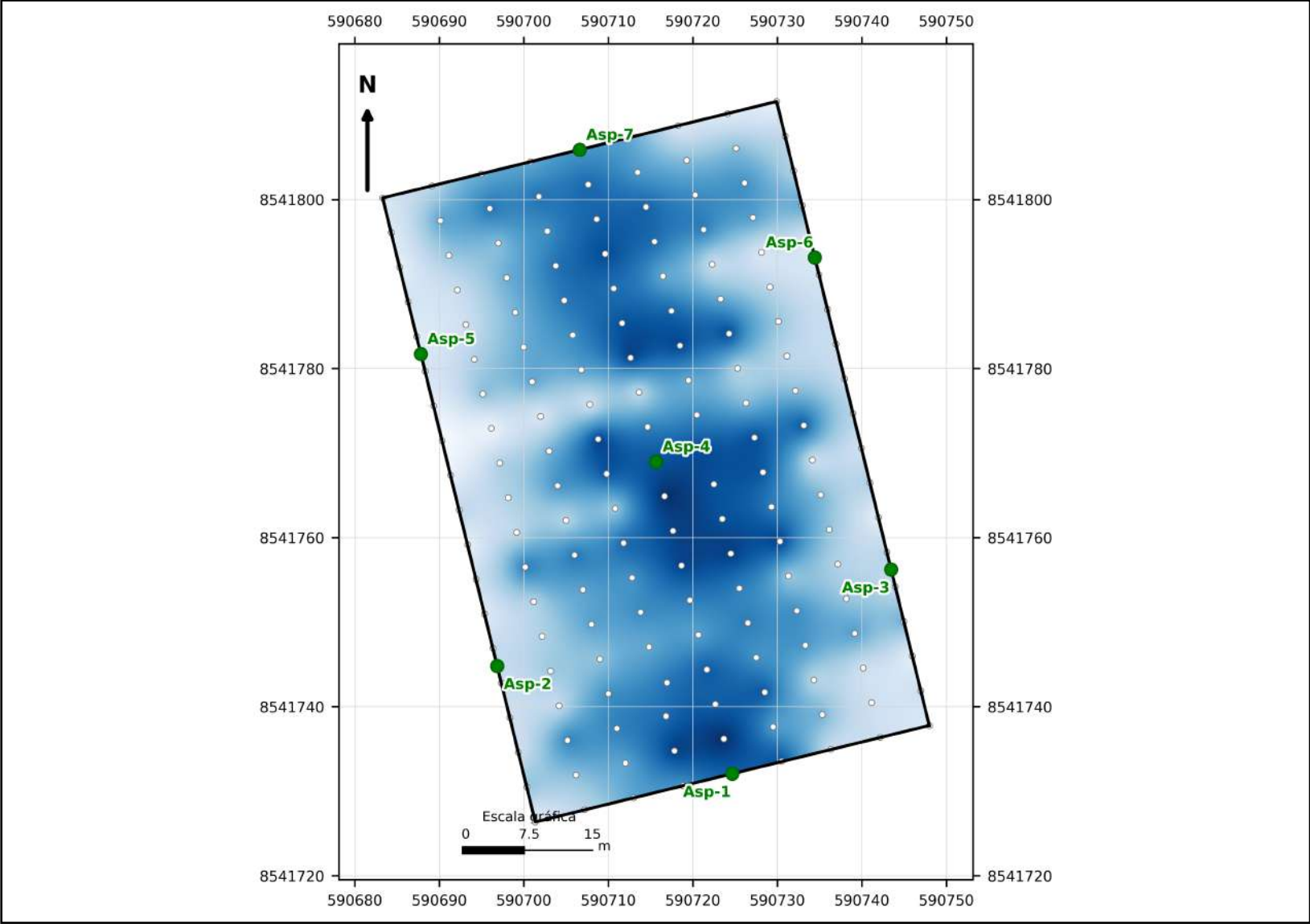
ISO-06

Elaboración:

Propia

MAPA DE DISTRIBUCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN DE PRUEBA ADICIONAL

Ensayo de uniformidad de riego por aspersión - Santa Bárbara
Determinación del Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (CUC)



RESULTADOS DEL ENSAYO

Precipitación media	7.98 mm
Precipitación máxima	11.82 mm
Precipitación mínima	4.48 mm
Desviación media	1.68 mm
Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (CUC)	79 %

INTERPRETACIÓN DEL CUC

Bueno

Fuente: Keller, J., & Merriam, J. L. (1978).
Farm irrigation system evaluation: a guide for management.
Utah: Utah State University.

LEYENDA

Elementos del ensayo

- Aspersor
- Colector pluviométrico
- Límite de parcela ensayada

Precipitación acumulada (mm)

- 11.8 mm
- 10.0 mm
- 8.2 mm
- 6.3 mm
- 4.5 mm



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

TESIS:
"EVALUACIÓN DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE CHRISTIANSEN
EN CINCO COMITÉS DE RIEGO POR ASPERSIÓN, PROVINCIA
HUAMANGA - AYACUCHO, 2025"

MAPA DE DISTRIBUCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN
DE PRUEBA ADICIONAL

PARCELA ENSAYADA - SANTA BÁRBARA

Sistema de coordenadas:	UTM
Datum:	WGS 84
Zona:	18 Sur
Escala:	Gráfica
Fecha del ensayo:	18/10/2025

Lámina:

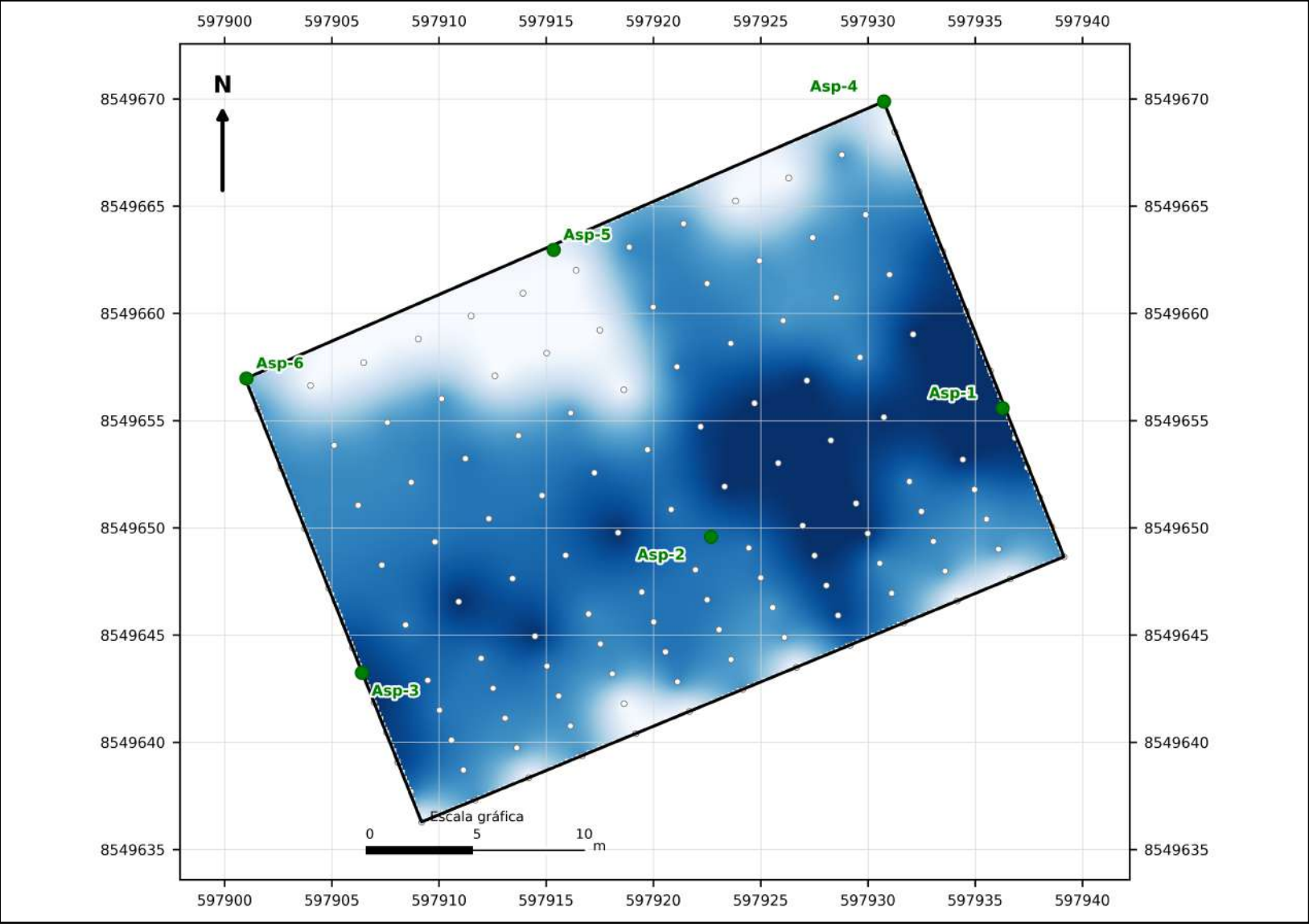
ISO-08

Elaboración:

Propia

MAPA DE DISTRIBUCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN DE PRUEBA ADICIONAL

Ensayo de uniformidad de riego por aspersión - Acosvinchos
Determinación del Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (CUC)



RESULTADOS DEL ENSAYO

Precipitación media	8.75 mm
Precipitación máxima	11.00 mm
Precipitación mínima	4.89 mm
Desviación media	1.33 mm
Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (CUC)	84.8 %

INTERPRETACIÓN DEL CUC

Bueno

Fuente: Keller, J., & Merriam, J. L. (1978).
Farm irrigation system evaluation: a guide for management.
Utah: Utah State University.

LEYENDA

Elementos del ensayo

- Aspersor
- Colector pluviométrico
- Límite de parcela ensayada

Precipitación acumulada (mm)

- 11.0 mm
- 9.5 mm
- 7.9 mm
- 6.4 mm
- 4.9 mm



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

TESIS:
"EVALUACIÓN DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE CHRISTIANSEN
EN CINCO COMITÉS DE RIEGO POR ASPERSIÓN, PROVINCIA
HUAMANGA - AYACUCHO, 2025"

MAPA DE DISTRIBUCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN
DE PRUEBA ADICIONAL

PARCELA ENSAYADA - ACOSVINCHOS

Sistema de coordenadas:	UTM
Datum:	WGS 84
Zona:	18 Sur
Escala:	Gráfica
Fecha del ensayo:	23/10/2025

Lámina:

ISO-07

Elaboración:

Propia



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
Bach. NEMER HUARIPAUCAR MORALES
R.D. N° 352-2026-UNSCH-FCA-D

En la ciudad de Ayacucho, a los treinta y un días del mes de julio del año dos mil veintiséis, siendo las ocho horas, se reunieron en el auditorio de la Facultad de Ciencias Agrarias, bajo la presidencia del Dr. Felipe Escobar Ramírez Decano de la Facultad de Ciencias Agrarias; los miembros del jurado conformado por el Ph.D. Sandra Del Águila Ríos, M.Sc. César Vidal Gutiérrez Ninahuamán como asesor, Dr. Richard Alex Oscco Peceros y el Ing. Efraín Chuchón Prado; actuando como secretario de actas el Mtro. Rodolfo Alca Mendoza, para recibir la sustentación de la Tesis titulado: **Evaluación del Coeficiente de Uniformidad de Christiansen en cinco comités de riego por aspersión, provincia Huamanga - Ayacucho, 2025**, para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agrícola, presentado por el Bachiller **NEMER HUARIPAUCAR MORALES**.

El señor Decano previa verificación de los documentos exigidos solicitó se proceda con la sustentación y posterior defensa de la tesis en un periodo de cuarenta y cinco minutos de acuerdo al reglamento de grados y títulos vigente. Terminado la exposición, los miembros del Jurado, formularon sus preguntas, aclaraciones y/o observaciones correspondientes. Luego se invitó a los miembros del jurado pasar a otra aula para la deliberación y calificación del trabajo de tesis, teniendo el siguiente resultado:

Jurado evaluador	Exposición	Respuestas a las preguntas	Generación de conocimiento	Promedio
Ph.D. Sandra Del Águila Ríos	15	13	14	14
M.Sc. César Vidal Gutiérrez Ninahuamán	15	15	16	15
Dr. Richard Alex Oscco Peceros	14	14	14	14
Ing. Efraín Chuchón Prado	16	16	16	16
PROMEDIO GENERAL				15

Acto seguido se invita a la sustentante y público en general para dar a conocer el resultado final. Firman el acta.

Ph.D. Sandra Del Águila Ríos
Presidente

M.Sc. César Vidal Gutiérrez Ninahuamán
Asesor

Dr. Richard Alex Oscco Peceros
Jurado

Ing. Efraín Chuchón Prado
Jurado

Mtro. Rodolfo Alca Mendoza
Secretario Docente

CONSTANCIA DE CONTROL DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE TESIS

El que suscribe, miembro de la comisión de docentes instructores responsables de operativizar, verificar, garantizar y controlar la originalidad de los trabajos de **TESIS** de la Facultad de Ciencias Agrarias, de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, autorizado por **R.D N° 213-2025-UNSCH-FCA-CF**; hace constar que el trabajo titulado:

Evaluación del Coeficiente de Uniformidad de Christiansen en cinco comités de riego por aspersión, provincia Huamanga – Ayacucho, 2025

Autor : Nemer Huaripaucar Morales
Asesor : César Vidal Gutiérrez Ninahuamán

Ha sido sometido al control de originalidad mediante el software TURNITIN UNSCH, acorde al Reglamento de originalidad de trabajos de tesis, aprobado mediante RCU 039-2021-UNSCH-CU, arrojando un resultado de **cinco (5%)** de índice de similitud, con exclusión de citas y bibliografía, y de coincidencias menores de 30 palabras.

En consecuencia, se otorga la presente Constancia de Originalidad para los fines pertinentes.

Nota: Se adjunta el resultado con identificador de la entrega: 3015657801.

Ayacucho, 21 de Agosto de 2026

Atentamente,



UNIVERSIDAD NACIONAL DE
SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
Facultad de Ciencias Agrarias
Prof. Dr. Eleazar Cuchón Angulo
DNI 42682714

Evaluación del Coeficiente de Uniformidad de Christiansen en cinco comités de riego por aspersión, provincia Huamanga – Ayacucho, 2025

por Nemer HUARIPAUCAR MORALES

Fecha de entrega: 21-ago-2026 09:19a. m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 3015657801

Nombre del archivo: Evaluación_del_Coeficiente_de_Uniformidad_de_Christiansen_en_cinco_comités_de_riego_por_aspersión_provincia_Huamanga_Ayacucho_2025.pdf (11.44M)

Total de palabras: 41919

Total de caracteres: 192681

Evaluación del Coeficiente de Uniformidad de Christiansen en cinco comités de riego por aspersión, provincia Huamanga – Ayacucho, 2025

INFORME DE ORIGINALIDAD

5%

INDICE DE SIMILITUD

5%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

2%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1 exploredoc.com

Fuente de Internet

1%

2 www.scribd.com

Fuente de Internet

<1%

3 repositorio.unsch.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

4 Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga

Trabajo del estudiante

<1%

5 vsip.info

Fuente de Internet

<1%

6 repositorio.unap.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

7 repositorio.unsaac.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

8 dspace.unl.edu.ec

Fuente de Internet

<1%

9 oa.upm.es

Fuente de Internet

<1%

10 www.mef.gob.pe

Fuente de Internet

<1%

11 repositorio.uchile.cl

Fuente de Internet

<1%

12 idus.us.es

Fuente de Internet

<1%

13 repositorio.umsa.bo

Fuente de Internet

<1%

14 www.coursehero.com

Fuente de Internet

<1%

15	Ruud P. B. Foppen. "Understanding the Role of Sink Patches in Source-Sink Metapopulations: Reed Warbler in an Agricultural Landscape", Conservation Biology, 12/18/2000 Publicación	<1 %
16	pdfcoffee.com Fuente de Internet	<1 %
17	Diaz Lopez, Oliver. "Tecnologia de Biorreactores de Membrana Como Tratamiento Terciario de Aguas Residuales Domesticas", Universidad de La Laguna (Canary Islands, Spain), 2022 Publicación	<1 %
18	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
19	uvadoc.uva.es Fuente de Internet	<1 %
20	SIFUENTES CRUZ MARIEL. "Informe de Gestión Ambiental del Proyecto Instalación de un Sistema de Riego Tecnificado por Aspersión para el Grupo de Gestión Empresarial Cochabamba, Ubicado en el Distrito de Chiara, Provincia de Huamanga, Región Ayacucho-IGA0015278", R.D.G. N° 389-14-MINAGRI-DVDIAR-DGAAA, 2021 Publicación	<1 %
21	hdl.handle.net Fuente de Internet	<1 %
22	paises.org Fuente de Internet	<1 %
23	issuu.com Fuente de Internet	<1 %
24	repositorio.unprg.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas
Excluir bibliografía

Activo
Activo

Excluir coincidencias

< 30 words

Evaluación del Desempeño Hidráulico y Coeficiente de Uniformidad de Christiansen en Sistemas de Riego por Aspersión en Cinco Comités de la Provincia de Huamanga, Ayacucho

Evaluation of Hydraulic Performance and Christiansen Uniformity Coefficient in Sprinkler Irrigation Systems in Five Committees of the Province of Huamanga, Ayacucho

Nemer Huaripaucar Morales^{1*}

César Vidal Gutiérrez Ninahuamán²

ORCID ID: 0000-0002-7969-1873

¹*Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga (UNSCH), Ayacucho, Perú.*

²*Departamento Académico de Ingeniería Agrícola, UNSCH, Ayacucho, Perú*

**Autor para correspondencia: nemer.huaripaucar.21@unsch.edu.pe*

RESUMEN

El presente artículo analiza la evaluación del desempeño hidráulico y el Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (CUC) en sistemas de riego por aspersión presurizados del Proyecto Cachi, distribuidos en cinco comités de riego de la provincia de Huamanga (Casaorcco, Manzanayocc, Santa Bárbara, Cusibamba y Acosvinchos). Mediante una metodología de enfoque cuantitativo, nivel descriptivo-correlacional y diseño transversal, se instalaron mallas pluviométricas en campo para determinar la lámina precipitada, el Coeficiente de Variación de Descarga (CVD), el Coeficiente de Distribución (CD) y el Índice de Desempeño del Sistema (IDS). Los resultados iniciales revelaron valores de CUC que oscilan entre 71% y 82%, catalogados como regulares a buenos; sin embargo, coeficientes como el CVD y el CD evidenciaron deficiencias operativas atribuibles a fluctuaciones de presión provocadas por pendientes pronunciadas (como en Manzanayocc con 22.8%). Como alternativa de optimización, se evaluó la integración de emisores mejorados (modelo AKONA KA-30), logrando incrementos sustanciales en el CUC (hasta 84.8% en Acosvinchos y 82.3% en Casaorcco). Se concluye que la implementación de reguladores de presión y la sustitución estratégica de aspersores son indispensables para maximizar la eficiencia hídrica en la agricultura altoandina.

Palabras clave: Coeficiente de Uniformidad de Christiansen, Riego por aspersión, Desempeño hidráulico, Eficiencia de riego, Ayacucho.

ABSTRACT

This article analyzes the evaluation of hydraulic performance and the Christiansen Uniformity Coefficient (CUC) in pressurized sprinkler irrigation systems of the Cachi Project, distributed across five irrigation committees in the province of Huamanga (Casaorcco, Manzanayocc, Santa Bárbara, Cusibamba, and Acosvinchos). Using a quantitative, descriptive-correlational, and cross-sectional design, rainfall nets were

installed in the field to determine the precipitation depth, the Discharge Variation Coefficient (CVD), the Distribution Coefficient (CD), and the System Performance Index (SPI). Initial results revealed CUC values ranging from 71% to 82%, categorized as fair to good; however, coefficients such as CVD and CD showed operational deficiencies attributable to pressure fluctuations caused by steep slopes (as in Manzanayocc with 22.8%). As an optimization alternative, the integration of improved emitters (AKONA KA-30 model) was evaluated, achieving substantial increases in the CUC (up to 84.8% in Acosvinchos and 82.3% in Casaorcco). It is concluded that the implementation of pressure regulators and the strategic replacement of sprinklers are essential to maximize water efficiency in high-altitude Andean agriculture.

Keywords: Christiansen Uniformity Coefficient, Sprinkler irrigation, Hydraulic performance, Irrigation efficiency, Ayacucho.

1. INTRODUCCIÓN

En la región andina del Perú, y particularmente en la provincia de Huamanga, la escasez estacional del recurso hídrico y la variabilidad climática exigen una gestión eficiente del agua con fines agrícolas. Los sistemas de riego por aspersión presurizados, implementados a través de proyectos de infraestructura hidráulica como el Proyecto Cachi, representan una tecnología clave para transformar la agricultura tradicional de secano en una agricultura tecnificada y productiva.

Sin embargo, la operación óptima de estos sistemas depende críticamente de la uniformidad en la distribución del agua sobre el terreno agrícola. Una distribución heterogénea genera zonas con déficit hídrico (que limitan el desarrollo del cultivo) y áreas con exceso de agua (que provocan anegamiento, lavado de nutrientes y pérdida de energía). Entre los indicadores más importantes para evaluar esta aptitud agronómica e hidráulica destaca el Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (CUC), complementado con el Coeficiente de Variación de Descarga (CVD), el Coeficiente de Distribución (CD) y el Índice de Desempeño del Sistema (IDS).

A pesar de su relevancia, en muchos comités de riego altoandinos operan bajo condiciones topográficas complejas y con un mantenimiento limitado, lo que deriva en un bajo rendimiento hidráulico. El presente estudio evalúa el comportamiento hidráulico actual en cinco comités de riego de Huamanga (Casaorcco, Manzanayocc, Santa Bárbara, Cusibamba y Acosvinchos) y analiza el impacto técnico de la incorporación de nuevos emisores (modelo AKONA KA-30) para optimizar la uniformidad de riego.

2. METODOLOGÍA

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, con un nivel descriptivo-correlacional y un diseño no experimental de corte transversal. El ámbito de estudio comprendió cinco comités de riego por aspersión ubicados en la provincia de Huamanga, departamento de Ayacucho:

- Comité de Riego Casaorcco
- Comité de Riego Manzanayocc

- Comité de Riego Santa Bárbara
- Comité de Riego Cusibamba
- Comité de Riego Acosvinchos

Para la toma de datos en campo se instalaron mallas o retículas de pluviómetros espaciados sistemáticamente en las parcelas de prueba bajo condiciones de operación real. Se midieron las presiones de operación en los aspersores y las láminas de agua acumuladas en cada pluviómetro durante un tiempo de riego determinado.

A partir de los registros pluviométricos y manométricos, se determinaron los siguientes parámetros estadísticos e hidráulicos:

- **Coefficiente de Uniformidad de Christiansen (CUC):** Mide la desviación absoluta media de las profundidades de riego respecto a la media general.
- **Coefficiente de Variación de Descarga (CVD):** Cuantifica la variabilidad de caudal entre los diferentes aspersores debido a presiones desfavorables.
- **Coefficientes de Distribución (CD):** Evalúa la uniformidad considerando el cuartil inferior de las profundidades de aplicación.
- **Índice de Desempeño del Sistema (IDS):** Calculado como el producto del CUC y el CD ($IDS = CUC \times CD$), integrando uniformidad y suficiencia.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis topográfico y de presiones evidenció que las pendientes del terreno influyen de manera directa en el comportamiento hidráulico. Comités como Manzanayocc (con una pendiente promedio de 22.8%) y Casaorcco (10.7%) presentan fluctuaciones de presión significativas entre los aspersores ubicados en las zonas altas y bajas de la parcelación. Por el contrario, comités con relieves más moderados, tales como Cusibamba (1.4%), Santa Bárbara (7.35%) y Acosvinchos (7.7%), mostraron menor dispersión por gradiente altitudinal.

En la Tabla 1 se resumen los indicadores hidráulicos obtenidos en la evaluación basal para cada uno de los cinco comités de estudio.

Tabla 1. Resumen de indicadores hidráulicos obtenidos

Comité de Riego	Pendiente (%)	CUC (%)	CVD (%)	CD (%)	IDS (%)
Casaorcco	10.70%	77.00%	27.75%	61.61%	47.74%
Manzanayocc	22.80%	82.00%	23.66%	70.55%	58.22%
Santa Bárbara	7.35%	71.00%	50.17%	61.98%	44.02%
Cusibamba	1.40%	81.00%	26.06%	72.32%	58.32%
Acosvinchos	7.70%	78.00%	26.19%	70.39%	54.60%

Como se observa en los resultados, si bien los valores de CUC sitúan a los sistemas en categorías de “regulares” (70% - 80%) a “buenos” (>80%), el Coeficiente de Variación de Descarga (CVD) en comité como Santa Bárbara alcanzan un crítico 50.17%, lo que denota desgaste en las boquillas y falta de regulación de presión en campo. Asimismo, el Índice de Desempeño del Sistema (IDS) refleja que

la eficiencia real de aplicación en el cuartil inferior se reduce considerablemente frente al CUC teórico.

Para mitigar estas deficiencias, se evaluó la sustitución de los aspersores convencionales por el modelo AKONA (KA-30), optimizando los diámetros de boquilla y calibrando presión de servicio. La implementación de esta mejora demostró incrementos notables en la uniformidad, tal como se detalla en la Tabla 2.

Tabla 2. Resultados obtenidos luego de mejora.

Comité de Riego	CUC inicial (%)	CUC con AKONA KA-30 (%)	Incremento (%)
Casaorcco	77.00%	82.30%	+5.30%
Santa Bárbara	71.00%	79.00%	+8.00%
Acosvinchos	78.00%	84.80%	+6.80%

La adopción del aspersor AKONA KA-30 permitió superar el umbral de los 80% de CUC en comités críticos como Santa Bárbara y Casaorcco, reduciendo las pérdidas por percolación profunda y optimizando el volumen de agua aprovechable por los cultivos altoandinos.

4. CONCLUSIONES

- **Evaluación Hidráulica Inicial:** Los comités evaluados en la provincia de Huamanga presentan valores de CUC entre 71% (Santa Bárbara) y 82% (Manzanayocc), clasificados de regulares a buenos; sin embargo, los altos valores de CVD (50.17%) evidencian problemas severos de variación de caudal y regulación de presión operativas.
- **Influencia Topográfica:** Se determinó que las pendientes pronunciadas, como el 22.8% de Manzanayocc y el 10.7% de Casaorcco, impactan negativamente en la uniformidad de distribución, requiriendo necesariamente el uso de reguladores de presión en los hidrantes o laterales de riego.
- **Efectividad de la Mejora Técnica:** La incorporación del modelo de aspersor AKONA (KA-30) incremento significativamente el Coeficiente de Uniformidad de Christiansen, elevando el CUC de Santa Bárbara del 71% al 79%, y el de Acosvinchos hasta un óptimo 84.8%, comprobando su viabilidad técnica para la zona de estudio.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Burt, C. M., Clemmens, A. J., Strelkoff, T. S., Howell, T. A., Hiller, J. E., & Solomon, K. H. (1997). Irrigation performance measures: Efficiency and uniformity. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 423-442.

- Cahua Villasante, D. A. (2020). Evaluación del sistema de riego por aspersión Huancasayani Ñacoreque y su relación producción agrícola en Cuyocuyo - Sandia. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Castañon, G. (2000). Ingeniería del riego. Utilización racional del agua. España: Paraninfo Thomson Learning.
- Christiansen, J. E. (1942). Irrigation by sprinkling. California: California Agricultural Experiment Station.
- Jensen, M. E., & Allen, R. G. (2016). *Desing and operation of farm irrigation systems*. Nebraska: ASABE (American Society of Agricultural and Biological Engineers).
- Keller, J., & Bliesner, R. D. (1990). *Sprinkle and Trickle Irrigation*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Keller, J., & Merriam, J. L. (1978). *Farm irrigation system evaluation: a guide for management*. Utah: Utah State University.