

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

Tesis

**Disponibilidad hídrica mediante sistemas de riego  
presurizado en épocas de estiaje en la localidad  
de Coema, distrito de San Francisco de Cayran,  
Huánuco 2021**

Diover Alexander Morales Romero

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Civil

Huancayo, 2022

# ÍNDICE

<b>Asesor .....</b>	<b>ii</b>
<b>Dedicatoria.....</b>	<b>iii</b>
<b>Agradecimientos .....</b>	<b>iv</b>
<b>Índice .....</b>	<b>v</b>
<b>Índice de tablas.....</b>	<b>x</b>
<b>Índice de figuras .....</b>	<b>xiv</b>
<b>Resumen .....</b>	<b>xvi</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>xvii</b>
<b>Introducción.....</b>	<b>xviii</b>
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>20</b>
<b>PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....</b>	<b>20</b>
1.1. Planteamiento y formulación del problema .....	20
1.1.1 Planteamiento del problema .....	20
1.1.2 Formulación del problema .....	22
1.1.2.1 Problema general.....	22
1.1.2.2 Problemas específicos .....	22
1.2. Objetivos .....	23
1.2.1. Objetivo general .....	23
1.2.2. Objetivos específicos.....	23
1.3. Justificación .....	23
1.3.1. Justificación teórica .....	23
1.3.2. Justificación social.....	24
1.3.3. Justificación económica.....	24
1.3.4. Justificación práctica .....	24
1.3.5. Justificación metodológica.....	25
1.4. Importancia de la investigación.....	25
1.5. Hipótesis y descripción de variables .....	26
1.5.1. Hipótesis general.....	26
1.5.2. Hipótesis específicas.....	26
1.5.3. Variable de la investigación .....	26
1.5.3.1. Disponibilidad hídrica.....	26
1.5.3.2. Riego presurizado.....	26

<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>29</b>
<b>MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>29</b>
2.1. Antecedentes del problema .....	29
2.1.1. Internacional.....	29
2.1.2. Nacionales.....	30
2.2. Bases teóricas .....	31
2.2.1. Cuenca hidrográfica .....	31
2.2.1.1. Delimitación de una cuenca hidrográfica .....	31
2.2.1.2. Parámetros fisiográficos de la cuenca .....	32
2.2.2. Ciclo hidrológico .....	32
2.2.3. Tratamiento de información climatológica .....	33
2.2.4. Tratamiento de datos hidrometeorológicos .....	33
2.2.4.1. Análisis de consistencia.....	34
2.2.5. Modelo determinístico – estocástico: Lutz Scholz .....	39
2.2.5.1. Distribución espacial de la precipitación .....	40
2.2.5.2. Coeficientes de escorrentía .....	42
2.2.5.3. Precipitación areal de la microcuenca .....	43
2.2.5.4. Precipitación efectiva .....	43
2.2.5.5. Retención de la cuenca .....	43
2.2.5.6. Coeficiente de agotamiento .....	44
2.2.5.7. Gasto de la retención.....	45
2.2.5.8. Abastecimiento de la retención .....	45
2.2.5.9. Caudal mensual para el año promedio .....	46
2.2.6. Generación de caudales para periodos extendido .....	46
2.2.7. Análisis estadístico y probabilístico .....	47
2.2.7.1. Prueba Smirnov Kolmogorov .....	47
2.2.7.2. Análisis de persistencia .....	47
2.2.8. Medición de escurrimientos.....	48
2.2.9. Caudal ecológico.....	50
2.2.10. Demanda hídrica .....	51
2.2.10.1. Demanda poblacional .....	51
2.2.10.2. Demanda agrícola .....	51
2.2.11. Sistemas de riego presurizado .....	54
2.3. Definición de términos básicos .....	55

<b>CAPÍTULO III .....</b>	<b>57</b>
<b>METODOLOGÍA .....</b>	<b>57</b>
3.1. Métodos y alcance de la investigación.....	57
3.1.1. Tipo de Investigación.....	57
3.1.2. Nivel de investigación.....	58
3.1.3. Alcance de la investigación .....	58
3.1.4. Diseño de la investigación.....	58
3.2. Población y muestra .....	59
3.2.1. Población.....	59
3.2.2. Muestra .....	59
3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	59
3.3.1. Área de estudio .....	59
3.3.1.1. Ubicación geográfica .....	59
3.3.2. Tratamiento cartográfico.....	60
3.3.3. Análisis estadístico de datos .....	61
3.3.3.1. Análisis de consistencia información hidrometeorológica .....	61
3.3.4. Modelo determinístico .....	62
3.3.4.1. Precipitación media areal de la microcuenca.....	62
3.3.4.2. Precipitación efectiva.....	63
3.3.4.3. Gasto en la retención.....	63
3.3.5. Generación de caudales a escala mensual para el año promedio ..	63
3.3.6. Generación de caudales para un periodo extendido .....	63
3.3.7. Verificación de caudales aforados.....	64
3.3.8. Oferta hídrica generada.....	65
3.3.9. Demanda hídrica .....	65
3.3.9.1. Demanda poblacional .....	65
3.3.9.2. Demanda agrícola.....	65
3.3.9.3. Evapotranspiración potencial .....	65
3.3.9.4. Coeficiente de cultivo.....	66
3.3.9.5. Eficiencia de aplicación.....	66
3.3.9.6. Precipitación efectiva al 75 % .....	66
3.3.9.7. Necesidades netas .....	66
3.3.9.8. Volumen demandado.....	66
3.3.10. Sistemas de riego presurizado .....	66

<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>67</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>67</b>
4.1. Condición actual .....	67
4.1.1. Análisis de la zona de estudio .....	67
4.1.2. Análisis de consistencia de los datos .....	69
4.1.3. Precipitación areal de la microcuenca del río Huancán.....	74
4.1.3.1. Precipitación efectiva .....	77
4.1.4. Modelo determinístico .....	77
4.1.4.1. Gasto en la retención.....	77
4.1.4.2. Abastecimiento de la retención .....	78
4.1.4.3. Generación de caudales a escala mensual para un año promedio.....	79
4.1.5. Caudales mensuales para un periodo extendido.....	80
4.1.6. Caudales medidos en la microcuenca del río Huancán.....	81
4.1.7. Oferta hídrica en la microcuenca del río Huancán.....	82
4.1.8. Oferta hídrica para riego al 75 % de persistencia.....	82
4.1.9. Caudal ecológico .....	83
4.1.10. Demanda hídrica actual .....	84
4.1.10.1. Demanda por consumo humano.....	84
4.1.10.2. Demanda agrícola .....	85
4.2. Disponibilidad hídrica aplicando el sistema de riego por aspersión .....	92
4.3. Disponibilidad hídrica y el sistema de riego por microaspersión.....	95
4.4. Disponibilidad hídrica aplicando el sistema de riego por goteo.....	99
4.5. Variación de la disponibilidad hídrica aplicando sistemas de riego.....	103
4.6. Prueba de hipótesis .....	104
4.6.1. Hipótesis específicas.....	104
4.6.1.1. Relación entre las variables disponibilidad hídrica y riego presurizado por aspersión .....	104
4.6.1.2. Relación entre las variables disponibilidad hídrica y riego presurizado por microaspersión.....	105
4.6.1.3. Relación entre las variables disponibilidad hídrica y riego presurizado por goteo .....	106
4.7. Discusión de resultados .....	107
4.7.1. Situación actual .....	107

4.7.2. Disponibilidad hídrica y el sistema de riego por aspersión .....	114
4.7.3. Disponibilidad hídrica y el sistema de riego por microaspersión ...	115
4.7.4. Disponibilidad hídrica y el sistema de riego por goteo.....	117
4.7.5. Variación de la disponibilidad hídrica con los sistemas de riego ...	118
<b>Conclusiones</b> .....	<b>120</b>
<b>Recomendaciones</b> .....	<b>121</b>
<b>Lista de referencias</b> .....	<b>122</b>
<b>Anexos</b> .....	<b>124</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables .....	28
Tabla 2. Niveles de persistencia .....	48
Tabla 3. Factores de corrección .....	49
Tabla 4. Ubicación geográfica del distrito de san Francisco de Cayrán .....	60
Tabla 5. Ubicación geográfica y política de las estaciones alrededor de la microcuenca .....	61
Tabla 6. Aforos monitoreados .....	64
Tabla 7. Parámetros de la microcuenca del río Huancán .....	68
Tabla 8. Análisis estadístico de precipitación, estación Huánuco vs Canchán.	72
Tabla 9. Análisis estadístico de precipitación, estación Huánuco vs. San Rafael .....	74
Tabla 10. Precipitaciones medias mensuales de las estaciones .....	74
Tabla 11. Precipitación areal de la microcuenca río Huancán.....	76
Tabla 12. Precipitación efectiva (mm) .....	77
Tabla 13. Periodo hidrológico en la microcuenca del río Huancán.....	78
Tabla 14. Retención en la microcuenca río Huancán .....	78
Tabla 15. Coeficiente de agotamiento .....	78
Tabla 16. Gasto de la retención en la microcuenca del río Huancán .....	78
Tabla 17. Abastecimiento de la retención en la microcuenca del río Huancán	79
Tabla 18. Caudales generados para el año promedio en la microcuenca río Huancán .....	79
Tabla 19. Datos para el análisis de regresión múltiple .....	80
Tabla 20. Coeficientes de regresión múltiple.....	81
Tabla 21. Oferta hídrica (MMC) en la microcuenca del río Huancán.....	82
Tabla 22. Oferta hídrica (MMC) al 75 % para riego .....	83
Tabla 23. Caudal ecológico .....	83
Tabla 24. Población por localidades (2020) .....	84
Tabla 25. Demanda hídrica por consumo poblacional.....	84
Tabla 26. Cultivos en la localidad de Coema en épocas de estiaje.....	86
Tabla 27. Coeficientes de cultivo (Kc) .....	86
Tabla 28. Evapotranspiración potencial, método de Penman Monteith.....	87

Tabla 29. Precipitación efectiva al 75 % de persistencia .....	87
Tabla 30. Demanda del cultivo frijol vainitas en épocas de estiaje (riego por gravedad) .....	88
Tabla 31. Demanda del cultivo de maíz en épocas de estiaje (riego por gravedad) .....	88
Tabla 32. Demanda del cultivo de papa en épocas de estiaje (riego por gravedad) .....	89
Tabla 33. Demanda del cultivo de hortalizas en épocas de estiaje (riego por gravedad) .....	89
Tabla 34. Requerimiento de agua para los cultivos en épocas de estiaje (riego por gravedad) .....	90
Tabla 35. Demanda total en épocas de estiaje (riego por gravedad) .....	90
Tabla 36. Disponibilidad hídrica en épocas de estiaje (riego por gravedad) ....	90
Tabla 37. Demanda del cultivo de frijol vainitas en épocas de estiaje (riego por aspersión).....	92
Tabla 38. Demanda del cultivo de maíz en épocas de estiaje (riego por aspersión).....	92
Tabla 39. Demanda del cultivo de papa en épocas de estiaje (riego por aspersión).....	93
Tabla 40. Demanda del cultivo de hortalizas en épocas de estiaje (riego por aspersión).....	93
Tabla 41. Requerimiento de agua para los cultivos en épocas de estiaje (riego por aspersión).....	94
Tabla 42. Demanda total en épocas de estiaje (riego por aspersión).....	94
Tabla 43. Disponibilidad hídrica en épocas de estiaje (riego por aspersión) ....	94
Tabla 44. Demanda del cultivo de frijol vainitas (riego por microaspersión).....	95
Tabla 45. Demanda del cultivo de maíz en épocas de estiaje (riego por microaspersión) .....	96
Tabla 46. Demanda del cultivo de papa en épocas de estiaje (riego por microaspersión) .....	96
Tabla 47. Demanda del cultivo de hortalizas en épocas de estiaje (riego por microaspersión) .....	97
Tabla 48. Requerimiento de agua en épocas de estiaje (riego por microaspersión) .....	97



Tabla 49. Demanda total en épocas de estiaje (riego por microaspersión) .....	98
Tabla 50. Disponibilidad hídrica en épocas de estiaje (riego por microaspersión) .....	98
Tabla 51. Demanda del cultivo de frijol vainitas en épocas de estiaje (riego por goteo) .....	99
Tabla 52. Demanda del cultivo de maíz en épocas de estiaje (riego por goteo) .....	100
Tabla 53. Demanda del cultivo de papa en épocas de estiaje (riego por goteo) .....	100
Tabla 54. Demanda del cultivo de hortalizas en épocas de estiaje (riego por goteo) .....	101
Tabla 55. Requerimiento de agua para los cultivos en épocas de estiaje (riego por goteo) .....	101
Tabla 56. Demanda total en épocas de estiaje (riego por goteo) .....	102
Tabla 57. Disponibilidad hídrica en épocas de estiaje (riego por goteo) .....	102
Tabla 58. Variación de la demanda hídrica en épocas de estiaje .....	103
Tabla 59. Disponibilidad hídrica en épocas de estiaje aplicando sistemas de riego presurizado .....	103
Tabla 60. Matriz de consistencia .....	125
Tabla 61. Datos para la generación de la curva hipsométrica .....	126
Tabla 62. Registro histórico de precipitación estación Huánuco .....	127
Tabla 63. Registro histórico de precipitación estación Canchan .....	128
Tabla 64. Registro histórico de precipitación estación San Rafael .....	129
Tabla 65. Datos para el análisis de doble masa estación Huánuco vs Canchan .....	130
Tabla 66. Datos para el análisis de doble masa estación Huánuco vs San Rafael .....	131
Tabla 67. Análisis de correlación a escala mensual estación Huánuco vs Canchan .....	132
Tabla 68. Análisis de correlación a escala mensual estación Huánuco vs San Rafael .....	133
Tabla 69. Precipitación efectiva de la microcuenca del río Huancán.....	134
Tabla 70. Generación de números aleatorios.....	135
Tabla 71. Generación de caudales para un periodo extendido (mm/mes) .....	136

Tabla 72. Generación de caudales para el periodo extendido (m <sup>3</sup> /s) .....	137
Tabla 73. Distribución Normal - Smirnov Kolmogorov .....	138
Tabla 74. Caudal al 75 % de probabilidad de ocurrencia .....	144
Tabla 75. Caudales aforados en el mes de mayo .....	146
Tabla 76. Caudales aforados en el mes de junio.....	146
Tabla 77. Caudales aforados en el mes de julio.....	147

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo hidrológico.....	32
Figura 2. Flujograma para el tratamiento de la información hidrometeorológica .....	34
Figura 3. Flujograma para el análisis de saltos .....	35
Figura 4. Curva hipsométrica de la microcuenca .....	68
Figura 5. Perfil longitudinal del río Huancán.....	69
Figura 6. Número de orden del río Huancán .....	69
Figura 7. Hidrograma de precipitación, estación Huánuco .....	70
Figura 8. Hidrograma de precipitación, estación Canchan .....	70
Figura 9. Hidrograma de precipitación, estación San Rafael .....	71
Figura 10. Análisis de doble masa, estación Huánuco vs. Canchán .....	71
Figura 11. Diagrama de barras, estación Huánuco vs. Canchán .....	72
Figura 12. Análisis de doble masa, estación Huánuco vs. San Rafael.....	73
Figura 13. Diagrama de barras, estación Huánuco vs. San Rafael.....	73
Figura 14. Precipitación total mensual de las estaciones .....	75
Figura 15. Precipitación areal de la microcuenca río Huancán .....	77
Figura 16. Caudales generados para la microcuenca río Huancán.....	80
Figura 17. Caudales generados para un periodo extendido en la microcuenca del río Huancán .....	81
Figura 18. Oferta hídrica en MMC en la microcuenca del río Huancán.....	82
Figura 19. Hidrograma de caudales (m <sup>3</sup> /s) en la microcuenca .....	83
Figura 20. Demanda poblacional (MMC).....	85
Figura 21. Distribución de cultivos en épocas de estiaje .....	86
Figura 22. Disponibilidad hídrica en épocas de estiaje (riego por gravedad) ...	91
Figura 23. Disponibilidad hídrica usando el riego por aspersión .....	95
Figura 24. Disponibilidad hídrica usando el riego por microaspersión .....	98
Figura 25. Disponibilidad hídrica en épocas de estiaje aplicando el riego por goteo .....	102
Figura 26. Variación de la disponibilidad hídrica con los sistemas de riegos .	104
Figura 27. Disponibilidad hídrica y riego por aspersión .....	105
Figura 28. Disponibilidad hídrica y riego por microaspersión .....	106

Figura 29. Disponibilidad hídrica y riego por goteo .....	107
Figura 30. Completación y extensión de datos mediante el programa HEC4 y EASYFIT .....	132
Figura 31. Caudales medidos en la microcuenca del río Huancán .....	145
Figura 32. Población y muestra elaborado en QGIS .....	148
Figura 33. Delimitación de la microcuenca río Huancán elaborado en QGIS	149
Figura 34. Punto de captación para agua potable en la quebrada Yacutoma	151
Figura 35. Punto de captación del canal de riego para la localidad de Coema .....	151
Figura 36. Aforo realizado el (01/05/2021) en el río Huancán .....	152
Figura 37. Aforo realizado el (14/05/2021) en el río Huancán .....	152
Figura 38. Aforo realizado el (20/06/2021) en el río Huancán .....	153
Figura 39. Aforo realizado el (20/06/2021) en el río Huancán .....	153
Figura 40. Canal de riego en tierra que abastece al sector agrícola de la localidad de Coema .....	154
Figura 41. Situación del río Huancán en el mes de julio .....	154
Figura 42. Situación actual del río Huancán .....	155
Figura 43. Riego por gravedad en la localidad de Coema (cultivo de frijol vainita) .....	155
Figura 44. Cultivo de maíz en la localidad de Coema .....	156
Figura 45. Cultivo de frijol vainitas en la localidad de Coema .....	156

## RESUMEN

La investigación consistió en determinar la relación que existe entre la disponibilidad hídrica y los sistemas de riego presurizado en épocas de estiaje en la localidad de Coema, distrito de San Francisco de Cayrán, Huánuco 2021. Se utilizó la siguiente metodología: el tipo de investigación según su función fue aplicado, desde un alcance correlacional descriptivo y un diseño no experimental – transversal. La técnica que se utilizó fue el tratamiento detallado de las precipitaciones para la variable de la disponibilidad hídrica y el instrumento fue monitoreo dentro del lugar y los aforos *in situ* en la quebrada Yacutoma. La población fue las microcuencas que son partícipes de la subcuenca del río Cayrán y como muestra se estudió a la microcuenca del río Huancán.

Finalmente, se concluye que la disponibilidad hídrica en la microcuenca del río Huancán en los meses de abril, mayo, junio, julio, agosto y septiembre, es 0.7980 MMC, 0.5416 MMC, 0.1570 MMC, 0.0408 MMC, 0.0141 MMC, 0.1385 MMC (millones de metros cúbicos), respectivamente.

La demanda hídrica para las épocas de estiaje (julio y agosto) es 220033.09 m<sup>3</sup>, esto es cubierto por la oferta con 274952.06 m<sup>3</sup> de agua. Además, la disponibilidad hídrica y los sistemas de riego presurizado tienen un buen ajuste y una buena relación, cada tipo de riego maneja un coeficiente de correlación y un coeficiente de determinación distinto, siendo el riego por goteo con mayor ajuste; es decir, si se aplica la ingeniería de riegos, la disponibilidad hídrica en la microcuenca aumentará de forma significativa.

**Palabras claves:** caudal ecológico, demanda hídrica, disponibilidad hídrica, épocas de estiaje, oferta hídrica, riego presurizado

## ABSTRACT

The research consisted of determining the relationship between water availability and pressurized irrigation systems in times of low water in the town of Coema, district of San Francisco de Cayrán, Huánuco 2021. The following methodology was used: The type of research according to its function was applied, from a descriptive correlational scope and a non-experimental - transversal design. The technique used was the detailed treatment of rainfall for the water availability variable and the instrument used was on-site monitoring and in situ gauging in the Yacutoma stream. The population was all the micro-basins that are part of the Cayrán river sub-basin and the Huancán river micro basin was studied as a sample.

Finally, it is concluded that the water availability in the Huancán river micro-basin in April, May, June, July, August and September is 0.7980 MMC, 0.5416 MMC, 0.1570 MMC, 0.0408 MMC, 0.0141 MMC, 0.1385 MMC (million cubic meters), respectively. The water demand for the dry season (July and August) is 220033.09 m<sup>3</sup>, which is covered by the supply with 274952.06 m<sup>3</sup> of water. In addition, water availability and pressurized irrigation systems have a good fit and a good relationship, each type of irrigation has a different correlation coefficient and coefficient of determination, with drip irrigation having a better fit, i.e., if irrigation engineering is applied, water availability in the micro basin will increase significantly.

**Keywords:** ecological flow, low water levels, pressurized irrigation, water availability, water demand, water supply