

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO

**“INTEGRACIÓN DE MODELOS NUMÉRICOS DEL RENDIMIENTO HIDRICO
Y ANALISIS MULTITEMPORAL DEL GLACIAR HUAYTAPALLANA EN LA
SUBCUENCA SHULLCAS”**

LINEA DE INVESTIGACION

ECOLOGÍA, AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE

TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE

INGENIERO AMBIENTAL

AUTOR

VILLALOBOS DURAN JHOVANNY SAMUEL

ASESOR

DR. SANDOVAL RICCI ALDO JUAN

JURADO

DR. ARGUEDAS MADRID CESAR JORGE

MG. ROJAS LEON GLADYS

MG. MENDOZA GARCIA JOSE TOMAS

LIMA - PERÚ

2021

Dedicatoria

La presente investigación está dedicada a mis padres Samuel y Juana que con mucha perseverancia lograron mi educación en la capital, a mis maestros por formar en mi persona la vocación de servicio, aplicando el conocimiento científico para mejorar la calidad de vida de nuestra sociedad.

Agradecimiento

A mi asesor Dr. Walter Gómez Lora por haberme brindado su orientación y tiempo, por la revisión reiterada del avance de mi trabajo, las palabras de aliento y preocupación por el avance continuo y dedicado de mi trabajo de investigación, ponerme en claro que los objetivos se materializan con el trabajo diario.

A las instituciones nacionales por brindarme la información que se recopiló y procesó por muchas personas con un fin supremo de mejorar y cuidar nuestro ambiente; IGP, IGN, SENAMHI.

Índice

| | |
|---|----|
| Índice | 4 |
| Índice de tablas | 12 |
| Índice de figuras | 16 |
| Índice de diagramas | 19 |
| Índice de graficas | 20 |
| Índice de ecuaciones | 23 |
| Índice de fotografías | 25 |
| I. Introducción | 29 |
| 1.1. Descripción y formulación del problema | 31 |
| 1.1.1. Descripción del problema | 31 |
| 1.1.2. Formulación del problema | 32 |
| 1.2. Antecedentes | 33 |
| 1.2.1. Antecedentes Nacionales | 33 |
| 1.2.2. Antecedentes Internacionales | 37 |
| 1.3. Objetivos | 38 |
| 1.3.1. Objetivo General | 38 |
| 1.3.2. Objetivo Especifico | 38 |
| 1.4. Justificación | 39 |
| 1.5. Hipótesis | 40 |
| II. Marco teórico | 41 |

| | | |
|--------|--|----|
| 2.1. | Aspectos normativos ambientales | 41 |
| 2.2. | Hidrología | 41 |
| 2.2.1. | Ciclo hidrológico. | 42 |
| 2.2.2. | Distribución del agua en la tierra | 42 |
| 2.2.3. | Sistemas hidrológicos | 44 |
| 2.2.4. | Precipitación | 44 |
| 2.2.5. | Escurrimiento..... | 47 |
| 2.2.6. | Infiltración | 48 |
| 2.2.7. | Problemas hídricos. | 49 |
| 2.3. | Cuenca hídrica | 50 |
| 2.3.1. | Definición de cuenca hídrica. | 50 |
| 2.3.2. | Componentes principales de la cuenca | 50 |
| 2.3.3. | Tipos de cuenca. | 51 |
| 2.3.4. | Parámetros forma de la cuenca. | 53 |
| 2.3.5. | Parámetros de la red hidrográfica. | 55 |
| 2.4. | Glaciología | 58 |
| 2.4.1. | Clasificación UNESCO de glaciares. | 59 |
| 2.4.2. | Monitoreo de glaciares | 62 |
| 2.4.3. | Balance de masa de un glaciar | 63 |
| 2.4.4. | Balance de hielo | 64 |
| 2.4.5. | Balance calórico | 65 |

| | |
|--|----|
| 2.4.6. Dinámica de movimiento de glaciares | 66 |
| 2.5. Meteorología y climatología | 66 |
| 2.5.1. Variables meteorológicas. | 68 |
| 2.5.2. Monitoreo del tiempo | 70 |
| 2.5.3. Mapas meteorológicos y predicción | 71 |
| 2.5.4. El clima | 71 |
| 2.5.5. Factores climáticos | 72 |
| 2.5.6. Tipos de clima | 73 |
| 2.5.7. Modelos climáticos del tiempo | 75 |
| 2.5.8. El cambio climático | 76 |
| 2.6. Teledetección | 77 |
| 2.6.1. Principios de la teledetección | 77 |
| 2.6.2. El espectro electromagnético | 79 |
| 2.6.3. Magnitudes radiométricas básicas | 81 |
| 2.6.4. Sistema de adquisición pasiva y activa | 83 |
| 2.6.5. Composición a colores de imágenes espectrales | 84 |
| 2.6.6. Tipos de resolución de imágenes satelitales | 86 |
| 2.6.7. Combinación de bandas de satélite Landsat | 91 |
| 2.6.8. Correcciones de imágenes satelitales | 92 |
| 2.6.9. Firmas espectrales | 94 |
| 2.6.10. Clasificación de imágenes satelitales | 96 |

| | |
|---|-----|
| 2.7. Sistemas de información geográfica | 98 |
| 2.7.1. Representación de datos. | 98 |
| 2.7.2. Ventajas y desventajas del manejo de datos. | 99 |
| 2.7.3. Sistema de coordenadas geográficas y la proyección UTM | 100 |
| 2.7.4. Superposición de mapas | 101 |
| 2.7.5. Cartografía automatizada | 101 |
| 2.7.6. Software SIG | 101 |
| 2.7.7. Aplicaciones del SIG | 102 |
| 2.8. Modelos numéricos | 103 |
| 2.8.1. Modelo numérico. | 103 |
| 2.8.2. Parametrizaciones físicas | 104 |
| 2.8.3. Modelos regionales | 105 |
| 2.8.4. Error y validación de los modelos | 106 |
| III. Método | 108 |
| 3.1. Tipo de investigación | 108 |
| 3.2. Ámbito temporal y espacial | 108 |
| 3.3. Variables | 109 |
| 3.4. Población y muestra | 110 |
| 3.5. Instrumentos | 110 |
| 3.6. Procedimientos | 111 |
| 3.6.1. Primera Etapa | 111 |

| | | |
|---------|---|-----|
| 3.7. | Análisis de datos | 112 |
| 3.7.1. | Tratamiento de datos con software estadístico | 112 |
| 3.8. | Consideraciones éticas | 113 |
| 3.8.1. | Segunda Etapa | 117 |
| IV. | Resultados | 118 |
| 4.1. | Evaluación geopolítica de la subcuenca Shullcas | 118 |
| 4.1.1. | La cuenca Mantaro y la subcuenca Shullcas. | 118 |
| 4.1.2. | Ubicación de la subcuenca Shullcas. | 119 |
| 4.1.3. | Acceso y vías de comunicación | 120 |
| 4.1.4. | Aspectos Socioeconómico | 120 |
| 4.2. | ZEE de la subcuenca Shullcas | 120 |
| 4.2.1. | Fisiografía | 121 |
| 4.2.2. | Geología..... | 122 |
| 4.2.3. | Hidrogeología | 123 |
| 4.2.4. | Geomorfología | 124 |
| 4.2.5. | Suelo | 125 |
| 4.2.6. | Zonas de Vida | 126 |
| 4.2.7. | Cobertura Vegetal | 127 |
| 4.2.8. | Capacidad de uso mayor de suelos CUM | 128 |
| 4.2.9. | Uso Actual de Suelos | 129 |
| 4.2.10. | Intensidad de erosión de suelo | 130 |

| | |
|---|-----|
| 4.2.11. Flora y Fauna..... | 130 |
| 4.2.12. Zonificación ecológica económica..... | 131 |
| 4.3. Diagnostico multitemporal del glaciar Huaytapallana | 133 |
| 4.3.1. Adquisición de imágenes satelitales | 133 |
| 4.3.2. Proyección temporal de imágenes LandSat | 134 |
| 4.3.3. Procesos correctivos informáticos de las imágenes multiespectrales | 135 |
| 4.3.4. Cuantificación de la cobertura glaciar | 139 |
| 4.3.5. Correlación temporal de la cobertura glaciar..... | 140 |
| 4.3.6. Cálculo de tasa de cambio y retroceso del glaciar | 141 |
| 4.4. Parámetros hidrológicos de la subcuenca Shullcas | 143 |
| 4.4.1. Parámetros de forma | 143 |
| 4.4.2. Parámetros de relieve..... | 145 |
| 4.4.3. Parámetros de la red hidrográfica | 151 |
| 4.4.4. Resumen de parámetros | 155 |
| 4.4.5. Esquema fluvial del rio Shullcas..... | 156 |
| 4.5. Evaluación climática de la subcuenca Shullcas..... | 157 |
| 4.5.1. Evaluación de estaciones meteorológicas..... | 157 |
| 4.5.2. Temperatura del aire | 163 |
| 4.5.3. Humedad relativa | 183 |
| 4.5.4. Evapotranspiración Potencial y Real | 187 |
| 4.5.5. Evaporación | 188 |

| | |
|--|-----|
| 4.5.6. Horas de Sol | 191 |
| 4.5.7. Viento..... | 192 |
| 4.5.8. Efectos de El Niño sobre el clima de los Andes | 193 |
| 4.6. Evaluación pluviométrica | 194 |
| 4.6.1. Evaluación de estaciones pluviométricas..... | 194 |
| 4.6.2. Regionalización de la precipitación en función a la altura | 194 |
| 4.6.3. Determinación de la precipitación por el método de las isoyetas | 197 |
| 4.6.4. Determinación de precipitación por el método adimensional (K) | 198 |
| 4.7. Evaluación hidrométrica..... | 203 |
| 4.7.1. Estaciones hidrométricas | 203 |
| 4.7.2. Relación del caudal en función al área de captación | 204 |
| 4.7.3. Relación de rendimiento hídrico en función a la altitud | 204 |
| 4.7.4. Relación de caudal real frente a caudal de escorrentía | 205 |
| 4.7.5. Registro histórico de caudales la subcuenca Shullcas | 206 |
| 4.7.6. Cálculo del escurrimiento de la subcuenca Shullcas | 208 |
| 4.7.7. Aporte hídrico del glaciar Huaytapallana | 209 |
| 4.7.8. Caudales mínimos anuales | 215 |
| 4.7.9. Caudales de estiaje | 215 |
| 4.7.10. Curva de duración o persistencia | 217 |
| 4.8. Balance hídrico | 219 |
| 4.9. Integración de modelos numéricos ambientales | 223 |

| | |
|---|-----|
| 4.9.1. Análisis de serie temporal de caudal del río Shullcas..... | 223 |
| 4.9.2. Análisis de serie temporal de precipitación en la subcuenca Shullcas | 225 |
| 4.9.3. Análisis de serie temporal de temperatura media en la subcuenca Shullcas | 227 |
| 4.9.4. Análisis de serie temporal para el área del glaciar Huaytapallana..... | 229 |
| 4.9.5. Resumen de valores históricos medidos y estimados | 230 |
| 4.9.6. Integración de variables de rendimiento hídrico y retroceso glaciar | 233 |
| V. Discusión de resultados | 239 |
| 5.1. Comportamiento de la temperatura | 239 |
| 5.2. Ciclos dinámicos de la precipitación | 239 |
| 5.3. Dinámica de caudales del río Shullcas | 240 |
| 5.4. Retroceso del glaciar | 240 |
| 5.5. Rendimiento hídrico de la subcuenca Shullcas | 241 |
| VI. Conclusiones | 242 |
| VII. Recomendaciones..... | 244 |
| VIII. Referencias | 246 |
| IX. Anexos..... | 251 |
| Anexo 1: Registro de datos precipitación..... | 251 |
| Anexo 2: Registro de datos de caudales | 254 |
| Anexo 3: Registro de episodios de El Niño y La Niña en índices ENOS..... | 255 |
| Anexo 4: Grafica histórica de retroceso glaciar | 257 |
| Anexo 6: Panel fotográfico..... | 268 |

| | |
|---|-----|
| Anexo 7: Mapas de la investigación..... | 270 |
|---|-----|

Índice de tablas

| | |
|---|-----|
| Tabla 1 Clasificación de cuencas hídricas por su área..... | 52 |
| Tabla 2 Clasificación del tamaño de una cuenca según SARH..... | 53 |
| Tabla 3 Clasificación de una cuenca según el factor de forma..... | 54 |
| Tabla 4 Determinación geométrica de una cuenca según el índice de Gravelius..... | 55 |
| Tabla 5 Clasificación de la red de drenaje en una cuenca | 57 |
| Tabla 6: Clasificación de la pendiente media del cauce principal | 58 |
| Tabla 7 Clasificación primaria de glaciares según UNESCO | 59 |
| Tabla 8 Clasificación de un glaciar según la forma..... | 60 |
| Tabla 9 Clasificación según las características del frente del glaciar | 61 |
| Tabla 10 Clasificación según el perfil longitudinal del glaciar | 61 |
| Tabla 11 Clasificación según la fuente de alimentación del glaciar | 62 |
| Tabla 12 Clasificación según la actividad de la lengua o frente del glaciar | 62 |
| Tabla 13 Composición de elementos de la atmósfera..... | 67 |
| Tabla 14 Tipos de clima según Köppen..... | 74 |
| Tabla 15 Clima según la distribución estacional de las precipitaciones..... | 74 |
| Tabla 16 Clima según la distribución estacional de la temperatura..... | 75 |
| Tabla 17 Clasificación de ondas electromagnéticas según su longitud de onda..... | 81 |
| Tabla 18 Combinaciones de bandas para imágenes Landsat 8 | 92 |
| Tabla 19 Ancho de ventanas en las bandas de Landsat 7 y 8 | 92 |
| Tabla 20 Ventajas y desventajas del manejo de datos | 99 |
| Tabla 21 Variables e indicadores de cambio de la cobertura glaciar..... | 109 |
| Tabla 22 Variables e indicadores de Hidrología del Glaciar | 109 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 23 Variables e indicadores hidrología de la subcuenca | 109 |
| Tabla 24 Equipos para realizar el estudio | 110 |
| Tabla 25 Materiales para realizar el estudio | 110 |
| Tabla 26 Unidades hidrológicas principales de la cuenca Mantaro..... | 118 |
| Tabla 27 Descripción fisiográfica de la subcuenca Shullcas | 121 |
| Tabla 28 Descripción geológica de la subcuenca Shullcas..... | 122 |
| Tabla 29 Descripción hidrogeológica de la subcuenca Shullcas | 123 |
| Tabla 30 Descripción geomorfológica de la subcuenca Shullcas | 124 |
| Tabla 31 Descripción de suelos de la subcuenca Shullcas | 125 |
| Tabla 32 Descripción de zonas de vida de la subcuenca Shullcas..... | 126 |
| Tabla 33 Descripción de la cobertura vegetal de la subcuenca Shullcas | 127 |
| Tabla 34 Descripción de capacidad de uso mayor de la subcuenca Shullcas | 128 |
| Tabla 35 Descripción de uso de suelos de la subcuenca Shullcas | 129 |
| Tabla 36 Descripción de la intensidad de la erosión de suelo en la subcuenca Shullcas | 130 |
| Tabla 37 Descripción de la zonificación ecológica económica en la subcuenca Shullcas | 131 |
| Tabla 38 Características de la constelación de satélites Landsat empleadas | 134 |
| Tabla 39 Descripción y características de imágenes satelitales empleadas | 135 |
| Tabla 40 Resultado de proceso de cálculo de cobertura glaciar | 139 |
| Tabla 41 Cálculo de la tasa de cambio (TC) y tasa de retroceso (TR%) del glaciar Huaytapallana | 141 |
| Tabla 42 Curva hipsométrica y frecuencia de altitudes | 145 |
| Tabla 43 Distribución de la altura media de la subcuenca Shullcas | 148 |
| Tabla 44 Descripción de ríos de la subcuenca Shullcas | 152 |
| Tabla 45 Resumen de parámetros hidrológicos de la subcuenca Shullcas | 155 |
| Tabla 46 Estaciones de registro meteorológico con influencia a la subcuenca Shullcas..... | 158 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 47 Precipitación media anual con influencia a la subcuenca Shullcas | 160 |
| Tabla 48 Registro histórico de temperatura mínima en la cuenca Mantaro | 165 |
| Tabla 49 Temperatura máxima mensual promedio en la cuenca del Mantaro | 166 |
| Tabla 50 Temperatura media mensual promedio en la cuenca del Mantaro | 167 |
| Tabla 51 Ecuaciones empíricas de la temperatura mínima, media y máxima | 173 |
| Tabla 52 Determinación de la temperatura media mediante isotermas | 175 |
| Tabla 53 Temperatura media generada en la subcuenca Shullcas | 176 |
| Tabla 54 Determinación de la temperatura máxima mediante isotermas | 178 |
| Tabla 55 Temperatura media generada en la subcuenca Shullcas | 179 |
| Tabla 56: Determinación de la temperatura mínima mediante isotermas..... | 181 |
| Tabla 57 Temperatura mínima generada en la subcuenca Shullcas | 182 |
| Tabla 58: Humedad relativa promedio mensual según la altitud en la cuenca Mantaro | 183 |
| Tabla 59 Humedad relativa media mensual de la estación meteorológica Huayao..... | 184 |
| Tabla 60: Determinación de la humedad relativa por isohumas en la subcuenca Shullcas ... | 185 |
| Tabla 61 Cálculo de la evapotranspiración potencial en la subcuenca Shullcas | 187 |
| Tabla 62 Cálculo de la evapotranspiración real en la subcuenca Shullcas | 187 |
| Tabla 63: Evaporación promedio mensual (mm) en estaciones evaluadas..... | 188 |
| Tabla 64 Cálculo de la evaporación media en la subcuenca Shullcas | 190 |
| Tabla 65 Distribución mensual de horas de sol en estación Huayao | 191 |
| Tabla 66 Distribución mensual de la velocidad de viento en estación Huayao..... | 192 |
| Tabla 67 Estaciones pluviométricas de con influencia a la subcuenca Shullcas | 194 |
| Tabla 68 Precipitación generada por el método regional en la subcuenca Shullcas..... | 196 |
| Tabla 69 Determinación de precipitación por el método de las isoyetas..... | 197 |
| Tabla 70 Precipitación generada para subcuenca Shullcas a partir de estación Huayao | 199 |
| Tabla 71 Precipitación generada para subcuenca Shullcas a partir de estación Shullcas | 200 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 72 Precipitación generada para subcuenca Shullcas a partir de estación Santa Ana... | 201 |
| Tabla 73 Información hidrométrica de subcuencas pertenecientes al Mantarodel Mantaro . | 203 |
| Tabla 74 Registro de información hidrométrica del río Shullcas m ³ /s..... | 206 |
| Tabla 75 Cálculo del escurrimiento medio mensual en la subcuenca Shullcas | 208 |
| Tabla 76 Aforos de afluentes del río en la subcuenca Shullcas | 210 |
| Tabla 77 Descripción porcentual de aportes de caudal al río Shullcas..... | 211 |
| Tabla 78 Valores generados de escurrimiento en la subcuenca Shullcas | 213 |
| Tabla 79 Caudales medio mensuales para los años más secos en la subcuenca Shullcas | 215 |
| Tabla 80 Precipitación total, escorrentía total y caudal de año más seco | 215 |
| Tabla 81 Curva de duración o persistencia de caudales en el río Shullcas | 217 |
| Tabla 82 Frecuencias para los caudales en estiaje generados | 218 |
| Tabla 83 Valores mensuales promedio de variables hídricas de la subcuenca Shullcas | 220 |
| Tabla 84: Oferta y demanda de caudal del río Shullcas..... | 222 |
| Tabla 85 Descripción del modelo para serie temporal caudal | 223 |
| Tabla 86 Parámetros de ajuste del modelo para caudal | 223 |
| Tabla 87 Estadísticos del modelo para variable caudal | 223 |
| Tabla 88 Parámetros de ajuste de modelo ARIMA para caudal | 223 |
| Tabla 89 Límite superior, inferior y valor del pronóstico de caudal | 224 |
| Tabla 90 Descripción del modelo para serie temporal de precipitación acumulada..... | 225 |
| Tabla 91 Parámetros de ajuste del modelo de precipitación acumulada | 225 |
| Tabla 92 Estadísticos del modelo para la precipitación acumulada | 225 |
| Tabla 93 Parámetros de ajuste del modelo ARIMA para precipitación acumulada | 225 |
| Tabla 94 Límite superior, inferior y valor del pronóstico de precipitación acumulada..... | 225 |
| Tabla 95 Descripción del modelo para serie temporal de temperatura..... | 227 |
| Tabla 96 Parámetros de ajuste del modelo de temperatura..... | 227 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 97 Estadísticos del modelo para la temperatura..... | 227 |
| Tabla 98 Parámetros de ajuste del modelo ARIMA para temperatura | 227 |
| Tabla 99 Límite superior, inferior y valor del pronóstico de temperatura..... | 227 |
| Tabla 100 Descripción del modelo para serie temporal evolución de área glaciar | 229 |
| Tabla 101 Parámetros de ajuste del modelo de área glaciar | 229 |
| Tabla 102 Estadísticos del modelo para área de glaciar | 229 |
| Tabla 103 Parámetros de ajuste del modelo ARIMA de área del glaciar | 229 |
| Tabla 104 Límite superior, inferior y valor del pronóstico de área glaciar | 230 |
| Tabla 105 Valores estimados por modelo ARIMA para precipitación y caudal medio | 231 |
| Tabla 106 Valores estimados por modelo ARIMA área glaciar y temperatura media | 232 |
| Tabla 107 Resumen de variables hídricas y climáticas modelizadas en el tiempo..... | 233 |
| Tabla 108 Oferta hídrica de la subcuenca Shullcas hasta el 2050 | 234 |
| Tabla 109 Estimación y proyección del rendimiento hídrico al 2050 | 235 |
| Tabla 110: Datos pluviométricos mensual de la estación Huayao. | 251 |
| Tabla 111 Datos pluviométricos mensual de la estación Santa Ana | 252 |
| Tabla 112 Datos pluviométricos mensual de la estación Santa Shullcas..... | 253 |
| Tabla 113 Registro de Información hidrométrica del río Shullcas en m ³ /s..... | 254 |
| Tabla 114 Índice de intensidad de episodios fríos y cálidos en el Perú..... | 255 |

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1 El ciclo hidrológico o ciclo del agua | 42 |
| Figura 2 Proporciones y distribución del agua en la tierra | 43 |
| Figura 3 Representación del sistema hidrológico | 44 |
| Figura 4 Principales tipos de precipitación: convectiva, orográfica y frontales | 45 |
| Figura 5 Representación y delimitación de una cuenca hídrica..... | 50 |

| | |
|--|----|
| Figura 6 Tipos de cuencas según el destino de su escurrimiento | 51 |
| Figura 7 Representación del orden de ríos en una cuenca | 56 |
| Figura 8 La densidad de drenaje en una cuenca | 56 |
| Figura 9 Relación de producción de sedimentos según la densidad de drenaje | 57 |
| Figura 10 Tipos y formas de glaciares según UNESCO | 60 |
| Figura 11 Balance de masas glaciares | 64 |
| Figura 12 Balance energético en un glaciar | 65 |
| Figura 13 Estructura de la atmosfera terrestre y sus propiedades básicas | 67 |
| Figura 14 Distribución mundial del clima según Köppen | 75 |
| Figura 15 Descripción de los principales modelos numéricos climáticos | 76 |
| Figura 16 Elementos de un sistema de teledetección satelital | 78 |
| Figura 17 Representación del espectro electromagnético..... | 79 |
| Figura 18 Clasificación de la onda electromagnética | 80 |
| Figura 19 Tipos de sensores remotos en satélites de teledetección | 84 |
| Figura 20 Compasión de imágenes en la RGB | 85 |
| Figura 21 Sustracción y adición de colores primarios en el sistema RGB | 86 |
| Figura 22 Representación de la resolución espacial | 87 |
| Figura 23 Ubicación de las ventanas espectrales de los satélites ASTER y LANDSAT | 88 |
| Figura 24 Niveles de grises según el número de bits de la imagen | 88 |
| Figura 25 Los niveles de grises de una imagen en función a bit | 89 |
| Figura 26 Tipos de orbitas de los satélites de teledetección | 90 |
| Figura 27 Esquemmatización de la resolución radiométrica | 90 |
| Figura 28 Combinaciones de bandas RGB adoptando falso color | 91 |
| Figura 29 Principales gráficos de las firmas espectrales | 95 |
| Figura 30: Clasificación supervisada de imágenes multitemporales | 96 |

| | |
|--|-----|
| Figura 31 Representación de tipos de datos: Ráster y Vector | 98 |
| Figura 32 Estructura de los datos representados en ráster | 99 |
| Figura 33 Representación del medio geográfico en ráster y vector..... | 99 |
| Figura 34 La cuenca Mantaro y la ubicación de la subcuenca Shullcas | 119 |
| Figura 35 Servidor web de la USGS con archivos históricos de satélites de teledetección .. | 133 |
| Figura 36 Galería de descarga de archivos de imágenes multiespectrales | 133 |
| Figura 37 Recorte de área de interés en bandas de imágenes multiespectrales | 136 |
| Figura 38 Calibración radiométrica de una imagen multiespectral | 136 |
| Figura 39 La corrección atmosférica y sus diversos factores | 137 |
| Figura 40 Galería de índices espectrales de imágenes multiespectrales..... | 138 |
| Figura 41 Imágenes que tienen correcciones de sus números digitales..... | 138 |
| Figura 42 Calculo de la pendiente media asistido por ArcGis..... | 150 |
| Figura 43 Perfil altimétrico del cauce del río Shullcas | 151 |
| Figura 44 Esquema de orden de ríos de la subcuenca Shullcas | 152 |
| Figura 45 El río Shullcas con sus afluentes y efluentes..... | 156 |
| Figura 46 Distribución de estaciones meteorológicas y aplicación del polígono de Thiessen | 159 |
| Figura 47 Ubicación de estaciones meteorológicas con amplitud meteorológica | 163 |
| Figura 48 Distribución espacial de la temperatura media anual de la subcuenca Shullcas ... | 174 |
| Figura 49 Isotermas para temperatura media de la subcuenca Shullcas | 175 |
| Figura 50 Distribución espacial de la temperatura máxima anual de la subcuenca Shullcas | 177 |
| Figura 51 Isotermas para temperatura máxima de la subcuenca Shullcas..... | 178 |
| Figura 52 Distribución espacial de la temperatura mínima anual de la subcuenca Shullcas . | 180 |
| Figura 53 Isotermas para temperatura mínima de la subcuenca Shullcas | 181 |
| Figura 54 Distribución espacial de la humedad relativa de la subcuenca Shullcas | 185 |

| | |
|--|-----|
| Figura 55 Distribución de isohumas de la subcuenca Shullcas | 186 |
| Figura 56 Distribución de la evaporación de la subcuenca Shullcas | 189 |
| Figura 57 Distribución de la isolínea de evaporación de la subcuenca Shullcas..... | 190 |
| Figura 58 Episodios históricos de El Niño en la cordillera de los Andes..... | 193 |
| Figura 59 Distribución de la precipitación generada en la subcuenca Shullcas | 195 |
| Figura 60 Distribución de isoyetas en la subcuenca Shullcas..... | 197 |
| Figura 61 Distribución de puntos de monitoreo de caudal en la subcuenca Shullcas | 212 |
| Figura 62 Balance hídrico climático de la subcuenca Shullcas | 221 |
| Figura 63 Retroceso glaciar periodo 1985, 1988 y 1989 | 257 |
| Figura 64 Retroceso glaciar periodo 1990, 1991 y 1992 | 258 |
| Figura 65 Retroceso glaciar periodo 1993, 1994 y 1995 | 259 |
| Figura 66 Retroceso glaciar periodo 1996, 1997 y 1998 | 260 |
| Figura 67 Retroceso glaciar periodo 1999, 2000 y 2001 | 261 |
| Figura 68 Retroceso glaciar periodo 2002, 2003 y 2004 | 262 |
| Figura 69 Retroceso glaciar periodo 2005, 2006 y 2007 | 263 |
| Figura 70 Retroceso glaciar periodo 2008, 2009 y 2010 | 264 |
| Figura 71 Retroceso glaciar periodo 2011, 2012 y 2013 | 265 |
| Figura 72 Retroceso glaciar periodo 2014, 2015 y 2016 | 266 |
| Figura 73 Retroceso glaciar periodo 2017, 2018 y 2019 | 267 |

Índice de diagramas

| | |
|--|-----|
| Diagrama 1 Determinación del área de estudio | 111 |
| Diagrama 2 Zonificación Ecológica Económica de la subcuenca Shullcas | 112 |
| Diagrama 3 Evaluación climática y meteorológica de la subcuenca Shullcas | 114 |
| Diagrama 4 Determinación satelital de la variación del glaciar Huaytapallana | 115 |

| | |
|---|-----|
| Diagrama 5: Determinación del balance hídrico de la Subcuenca Shullcas | 116 |
| Diagrama 6 Integración del modelo numérico de rendimiento hídrico y retroceso glaciar...117 | |

Índice de graficas

| | |
|---|-----|
| Gráfica 1 Evolución de la cobertura glaciar del Huaytapallana en el periodo: 1984 al 2019. 140 | |
| Gráfica 2 Regresión del retroceso del glaciar Huaytapallana en el periodo 1984 al 2019140 | |
| Gráfica 3 Curva hipsométrica y frecuencia de altitudes de la subcuenca Shullcas | 146 |
| Gráfica 4 Polígono de frecuencias de la subcuenca Shullcas | 147 |
| Gráfica 5 Altitud de frecuencia media de la subcuenca Shullcas | 149 |
| Gráfica 6 Comportamiento mensual promedio de la temperatura de la cuenca Mantaro..... | 161 |
| Gráfica 7 Precipitación media anual en cuencas vecinas a la zona de estudio | 162 |
| Gráfica 8 Distribución trimestral de la precipitación en la cuenca media del Mantaro..... | 162 |
| Gráfica 9 Distribución mensual de la temperatura mínima en el valle del Mantaro | 164 |
| Gráfica 10 Distribución mensual de la temperatura media en el valle del Mantaro..... | 164 |
| Gráfica 11 Distribución mensual de la temperatura máxima en el valle del Mantaro..... | 165 |
| Gráfica 12 Temperatura mínima mensual promedio en la cuenca del Mantaro | 166 |
| Gráfica 13 Temperatura máxima mensual promedio en la cuenca del Mantaro | 167 |
| Gráfica 14 Temperatura media mensual promedio en la cuenca del Mantaro | 168 |
| Gráfica 15 Ecuación regional de la temperatura para mes de enero..... | 168 |
| Gráfica 16 Ecuación regional de la temperatura para mes de febrero | 169 |
| Gráfica 17 Ecuación regional de la temperatura para mes de marzo..... | 169 |
| Gráfica 18 Ecuación regional de la temperatura para mes de abril | 169 |
| Gráfica 19 Ecuación regional de la temperatura para mes de mayo..... | 170 |
| Gráfica 20 Ecuación regional de la temperatura para mes de junio | 170 |
| Gráfica 21 Ecuación regional de la temperatura para mes de julio | 170 |

| | |
|--|-----|
| Gráfica 22 Ecuación regional de la temperatura para mes de agosto | 171 |
| Gráfica 23 Ecuación regional de la temperatura para mes de setiembre | 171 |
| Gráfica 24 Ecuación regional de la temperatura para mes de octubre..... | 171 |
| Gráfica 25 Ecuación regional de la temperatura para mes de noviembre..... | 172 |
| Gráfica 26 Ecuación regional de la temperatura para mes de diciembre..... | 172 |
| Gráfica 27 Distribución mensual promedio de la humedad relativa en la cuenca Mantaro .. | 183 |
| Gráfica 28 Distribución mensual de la humedad relativa en estación Huayao..... | 184 |
| Gráfica 29 Relación de la humedad relativa en función a la altitud | 184 |
| Gráfica 30 Distribución mensual de la evapotranspiración potencial | 187 |
| Gráfica 31 Distribución mensual de la evapotranspiración real ETR..... | 188 |
| Gráfica 32 Relación de la evaporación total en función a la altitud | 189 |
| Gráfica 33 Horas de sol diaria en estación Huayao | 191 |
| Gráfica 34 Horas de sol mensual en estación Huayao | 191 |
| Gráfica 35 Velocidad media de viento (m/s) en la estación Huayao | 192 |
| Gráfica 36 Velocidad media de viento (km/día) en la estación Huayao..... | 192 |
| Gráfica 37 Ecuación regional de la precipitación media anual..... | 195 |
| Gráfica 38 Precipitación generada para la cuenca Shullcas en función a la estación Huayao. | 200 |
| Gráfica 39 Precipitación generada para la subcuenca Shullcas a partir de estación Shullcas. | 201 |
| Gráfica 40 Precipitación generada para la subcuenca Shullcas a partir de estación Santa Ana. | 202 |
| Gráfica 41 Precipitación media anual generada por factor adimensional en la subcuenca Shullcas | 202 |
| Gráfica 42 Correlación de área colectada frente al caudal en la cuenca Mantaro | 204 |

| | |
|--|-----|
| Gráfica 43 Correlación de la altura media frente al rendimiento hídrico | 205 |
| Gráfica 44 Correlación del caudal real frente al caudal de escorrentía | 205 |
| Gráfica 45 Distribución anual de caudales medio, mínimo y máximo del río Shullcas | 207 |
| Gráfica 46 Distribución mensual de caudales medio, mínimo y máximo del río Shullcas ... | 208 |
| Gráfica 47 Comportamiento del escurrimiento frente a la precipitación en la subcuenca Shullcas | 209 |
| Gráfica 48 Histograma de caudal medio, mínimo y máximo de la estación Shullcas | 209 |
| Gráfica 49 Aporte porcentual de caudal del río Shullcas según su origen | 211 |
| Gráfica 50 Representación del caudal real, escorrentía y caudal del glaciar | 214 |
| Gráfica 51 Evolución de la precipitación, déficit y escorrentía en la subcuenca Shullcas | 214 |
| Gráfica 52 Precipitación y escorrentía total en época de estiaje – 1992 | 216 |
| Gráfica 53 Evolución de la precipitación, déficit y escorrentía en la subcuenca Shullcas | 218 |
| Gráfica 54 Balance hídrico en la subcuenca Shullcas | 219 |
| Gráfica 55 Balance de consumo hídrico del río Shullcas | 222 |
| Gráfica 56 Función de autocorrelación simple y parcial FAS y FAP para caudal | 224 |
| Gráfica 57 Representación de caudales observados, ajustados, límites y predicción | 224 |
| Gráfica 58 Función de autocorrelación simple y parcial FAS y FAP en precipitación acumulada | 226 |
| Gráfica 59 Representación en precipitación acumulada: observados, ajustados, límites y predicción | 226 |
| Gráfica 60 Función de autocorrelación simple y parcial FAS y FAP para temperatura | 228 |
| Gráfica 61 Representación de temperatura de aire: observados, ajustados, límites y predicción 228 | |
| Gráfica 62 Función de autocorrelación simple y parcial FAS y FAP del área glaciar | 230 |
| Gráfica 63 Representación de área glaciar: observados, ajustados, límites y predicción | 230 |

| | |
|---|-----|
| Gráfica 64 Distribución mensual de oferta y demanda de agua en la Subcuenca Shullcas... | 236 |
| Gráfica 65 Relación del rendimiento hídrico y el retroceso glaciar | 236 |
| Gráfica 66 Proyección de oferta hídrica del glaciar y la subcuenca Shullcas | 237 |

Índice de ecuaciones

| | |
|------------------|-----|
| Ecuación 1..... | 54 |
| Ecuación 2..... | 55 |
| Ecuación 3..... | 55 |
| Ecuación 4..... | 55 |
| Ecuación 5..... | 56 |
| Ecuación 6..... | 57 |
| Ecuación 7..... | 57 |
| Ecuación 8..... | 58 |
| Ecuación 9..... | 58 |
| Ecuación 10..... | 58 |
| Ecuación 11..... | 58 |
| Ecuación 12..... | 63 |
| Ecuación 13..... | 69 |
| Ecuación 14..... | 79 |
| Ecuación 15..... | 80 |
| Ecuación 16..... | 82 |
| Ecuación 17..... | 82 |
| Ecuación 18..... | 83 |
| Ecuación 19..... | 83 |
| Ecuación 20..... | 93 |
| Ecuación 21..... | 137 |

| | |
|------------------|-----|
| Ecuación 22..... | 140 |
| Ecuación 23..... | 142 |
| Ecuación 24..... | 142 |
| Ecuación 25..... | 147 |
| Ecuación 26..... | 150 |
| Ecuación 27..... | 150 |
| Ecuación 28..... | 151 |
| Ecuación 29..... | 152 |
| Ecuación 30..... | 153 |
| Ecuación 31..... | 153 |
| Ecuación 32..... | 154 |
| Ecuación 33..... | 154 |
| Ecuación 34..... | 154 |
| Ecuación 35..... | 173 |
| Ecuación 36..... | 177 |
| Ecuación 37..... | 180 |
| Ecuación 38..... | 185 |
| Ecuación 39..... | 194 |
| Ecuación 40..... | 196 |
| Ecuación 41..... | 204 |
| Ecuación 42..... | 204 |
| Ecuación 43..... | 205 |
| Ecuación 44..... | 208 |
| Ecuación 45..... | 218 |
| Ecuación 46..... | 238 |

Índice de fotografías

| | |
|--|-----|
| Fotografía 1: Principal acceso de caudal originado de sublimación del glaciar..... | 268 |
| Fotografía 2: Medición de parámetros de campo de agua superficial | 268 |
| Fotografía 3: Parte frontal del glaciar y línea de retroceso glaciar..... | 269 |
| Fotografía 4: Laguna Lasuntay de origen glaciar | 269 |

ABREVIATURAS

1. ARIMA: Modelo autorregresivo integrado de media móvil.
2. ENOS: El Niño-Oscilación del Sur (ENOS).
3. IGP: Instituto Geofísico del Perú.
4. IGN: Instituto Geográfico Nacional.
5. LANDSAT: Land = tierra y Sat = satélite
6. MINAM: Ministerio del Ambiente
7. ND: Numero Digital
8. MDT: Modelo digital del terreno.
9. MMC: Millones de metros cúbicos
10. OLI, ETM, TM en sensores:
11. ONU: Organización de Naciones Unidas.
12. PIXEL: Unidad básica de una imagen digitalizada en pantalla a base de puntos.
13. RGB: Red, Green, Blue.
14. R.H: Rendimiento Hídrico.
15. SENAMHI: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.

16. T.R y T.C en glaciares: Tasa de Retroceso y Tasa de Cambio.
17. UTM: Universal Transverse Mercator
18. ZEE: Zonificación Ecológica y Económica
19. USGS: Servicio Geológico de los Estados Unidos

Resumen

La presente investigación se realizó en la subcuenca Shullcas en el departamento de Junín, tiene como objetivo evaluar el comportamiento del rendimiento hídrico en función a la variación multitemporal del glaciar Huaytapallana empleando modelos matemáticos que generen escenarios futuros en la disponibilidad del recurso hídrico.

La metodología ha empleado la información histórica clasificada de SENAMHI, IGP, ANA, MINAM y USGS para las variables climáticas, hidrológicas e imágenes multiespectrales Landsat del periodo 1985 al 2019, cuyos datos se analizaron mediante modelos numéricos ARIMA y regresiones lineales en el software SPSS Statistics 25, en cuanto la discriminación de cobertura glaciar frente a otros elementos se aplicó la técnica del índice de diferencia normalizada de nieve (NDSI) en el Software ENVI 5.3.

La investigación evidencio la pérdida del área glaciar en un 54.28% del con una tasa de retroceso del 0.438 Km/año en el periodo 1985 al 2019 conservando un área actual de 18.23 Km², donde el glaciar está aportando 0.50 m³/s promedio en los meses de estiaje al caudal medio anual de la subcuenca Shullcas que es 3.31 m³/s. El rendimiento hídrico está representado por el modelo matemático: $R.H=9.1581+0.3332*A-0.0051*A^2$, la oferta hídrica con modelo de caudal con persistencia al 75% es 69.305 MMC/año, la demanda es 37.149 MMC/año donde el río Shullcas solo satisface 32.156 MMC/año siendo el 35% o 11.254 MMC/año de origen glaciar, generando estrés hídrico en los meses de estiaje cubiertas por fuentes subterráneas cuantificadas en 2.445 MMC/año. Lo cual pone de vital importancia el rol que cumple el glaciar Huaytapallana en la calidad de vida de la población de Huancayo.

Palabra Clave: Modelos numéricos, Rendimiento hídrico, Cobertura glaciar, Balance hídrico superficial, imágenes satelitales, aporte hídrico glaciar, análisis multitemporal, subcuenca del río Shullcas.

Abstract

The present research was carried out in the Shullcas sub-basin in the department of Junín, with the objective of evaluating the behavior of water performance based on the multi-time variation of the Huaytapallana glacier using mathematical models that generate future scenarios in the availability of water resources.

The methodology has used classified historical information from SENAMHI, IGP, ANA, MINAM and USGS for the climatic, hydrological and multispectral Landsat images from the period 1985 to 2019, which were analyzed using ARIMA numerical models and linear regressions in the SPSS Statistics software. 25, regarding the discrimination of glacier coverage against other elements, the technique of the normalized difference snow index (NDSI) was applied in the ENVI 5.3 Software.

The investigation evidenced the loss of the glacial area in 54.28% of the with a retreat rate of 0.438 km / year in the period 1985 to 2019, conserving a current area of 18.23 km², where the glacier is contributing 0.50 m³ / s in the months of low water flow at the annual average flow of the sub-basin of 3.31 m³ / s. The water yield is represented by the mathematical model: $RH = 9.1581 + 0.3332 * A - 0.0051 * A^2$, the water supply with a flow model with persistence at 75% is 69,305 MMC / year, the demand is 37,149 MMC / year where the river Shullcas only satisfies 32,156 MMC / year, being 35% or 11,254 MMC / year of glacial origin, generating water stress in the dry months covered by underground sources quantified at 2,445 MMC / year. This places the role of the Huaytapallana glacier in the quality of life of the population of Huancayo of vital importance.

Keywords: Numerical models, hydric yield, glacial coverage, superficial hydric balance, satellite images, glacial hydric contribution, multi-temporal analysis, sub basin of the Shullcas river.

I. Introducción

La presente investigación se realizó en el departamento de Junín en la subcuenca Shullcas y está orientada a la evaluación de variables hidrológicas mediante modelos numéricos basados en información registrada mayor a 35 años por organismos nacionales e internacionales, con la finalidad de conocer la dinámica del rendimiento hídrico frente al retroceso glaciar el cual nos permitirá generar escenarios futuros de oferta de agua frente al crecimiento demográfico y el cambio climático generalizado.

En el primer capítulo, se formuló los esquemas básicos para efectuar la tesis como la problemática de la escasez de agua en los meses de estiaje y la desaparición de la cobertura glaciar del nevado Huaytapallana que repercuten de forma significativa la oferta de agua en la subcuenca Shullcas. El cual mediante los objetivos como la determinación de la tasa de retroceso y el análisis hidrológico se podrá cuantificar las variables para conocer el balance hídrico superficial de la cuenca.

En el segundo capítulo se describe de forma específica y sucinta los conceptos de las técnicas, metodologías y variables para el procesamiento de los resultados describiendo su participación e injerencia en los procesos hidrológicos de la subcuenca Shullcas en el tiempo.

En el tercer capítulo se expondrá el método del estudio, donde la tesis es aplicada y explicativa, su área de estudio esta demarcada por la subcuenca Shullcas y el glaciar Huaytapallana siendo esta la muestra de la investigación. Donde las variables dependientes son: hidrología del glaciar, hidrología de la subcuenca y el retroceso de la cobertura glaciar. Los procedimientos a utilizar son aplicación de técnicas de software GIS aplicando el software ARCGIS 10.6 para los aspectos físicos, biológicos, socioeconómicos, determinación del área de influencia y análisis hidrológico de la cuenca, la evaluación estadística de datos meteorológicos para la formulación de modelos

numéricos, el análisis multiespectral de imágenes satelitales con la finalidad del cálculo de la cobertura glaciar con la técnica del NDSI aplicando el software ENVI 5.3. Y para la integración y modelamiento numérico de variables con el objetivo de conocer la dinámica de posibles escenarios futuros de la oferta hídrica en la subcuenca Shullcas se ha utilizado el software IBM SPS STATISTICS 25, con la técnica de modelos ARIMA y regresiones lineales múltiples, haciendo posible el balance hídrico de la subcuenca con fines poblacionales y ambientales.

En el cuarto capítulo se expondrá los resultados del comportamiento de las variables como el potencial de territorio y el uso actual que se presenta, se analizará las imágenes multiespectrales del satélite LANDSAT con el fin de conocer la variabilidad de la cobertura glaciar, se evaluará los parámetros hidrológicos superficiales del Shullcas, luego se procesará estadísticamente las variables climáticas e hidrológicas como la precipitación y el aforo de caudales para generar el balance hídrico superficial de la subcuenca Shullcas. Todas estas variables serán integradas mediante modelos numéricos para conocer el grado de dependencia y correlación que generen entre ellas y poder predecir de manera más fiable el escenario futuro de la disponibilidad del recurso hídrico.

En el quinto capítulo desarrolla la discusión de resultados de forma crítica poniendo en evidencia el déficit del recurso hídrico en los meses de estiaje con una insuficiente gestión el manejo del agua, como la carencia de proyectos hidráulicos de captación, siembra de agua y educación ambiental, lo cual será necesario para contrarrestar la escasez de agua en años venideros ya que es evidente y acelerado el retroceso glaciar y el aumento de la demanda del recurso hídrico en las diferentes actividades de la cuenca.

Finalmente se expone las conclusiones y recomendaciones halladas en el estudio dándole un enfoque de preservación del recurso hídrico y mejora de la calidad de vida.

1.1. Descripción y formulación del problema

1.1.1. Descripción del problema

El nevado del Huaytapallana se ubica en el departamento de Junín, siendo la cabecera de la subcuenca Shullcas donde se asienta la ciudad de Huancayo con una población de 545 615 habitantes (Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI], 2017). Su sistema hídrico está conformado por un conjunto de glaciares, lagunas y manantiales que abastecen de forma regular de agua dulce a la población por medio de su río principal durante todo el año.

En la actualidad mediante los recientes estudios públicos y privados, el nevado Huaytapallana ha presentado un retroceso considerable en su cobertura glaciar el cual está regido a condiciones climáticas, esto dificulta mantener un régimen hídrico regular en la subcuenca Shullcas, que limita en forma considerable ejecutar actividades de ganadería, agricultura, agua potable, acuicultura, hidroeléctrica e industria de manera normal. (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2016).

La acentuada variación de los elementos del clima, la anómala e irregular presencia de los ENOS (El Niño - Oscilación del Sur), la alteración de la precipitación en frecuencia e intensidad ha dinamizado el balance de masa del glaciar generando aportes negativos que se conocen como retroceso glaciar, esto nos dice que el nevado desaparecerá y necesariamente existirán problemas en la población por la carencia de agua para diferentes propósitos (Comunidad Andina, [CAN] 2007).

En la subcuenca Shullcas se presentan pocos estudios con trazabilidad en el tiempo y aplicación de nuevas técnicas y tecnologías de medición, los cuales son necesarios para la planificación de diversas estructuras hidráulicas, defensa ribereña y conservación del agua, que en el futuro van impulsar a contrarrestar o mitigar los problemas que ocasionan el cambio climático global.

La distribución de agua potable en la ciudad de Huancayo es limitada en la actualidad, esto ha generado que se racionalice en recurso causando problemas de abastecimiento en los periodos de estío en la población. La parte alta y media de la subcuenca Shullcas en los últimos años no presento proyectos trascendentes y notables en el sector hídrico, defensa ribereña, erosión de suelos, geodinámica externa, valoración económica del glaciar Huaytapallana, ordenamiento ambiental y gestión para la conservación del recurso.

1.1.2. Formulación del problema

Problema general.

¿Qué relación numérica presenta el rendimiento hídrico de la subcuenca Shullcas frente al retroceso del glaciar Huaytapallana?

Problema específico.

- ¿Qué cambios se han producido en la cobertura del glaciar Huaytapallana en el periodo de 1985 al 2019?
- ¿Cuál es la dinámica multitemporal del rendimiento hídrico de la subcuenca del Shullcas?
- ¿Cuánto es el aporte hídrico del glaciar Huaytapallana al caudal del rio Shullcas?
- ¿Cuál es la caracterización y dinámica meteorológica de la subcuenca Shullcas?
- ¿Cuál es la disponibilidad de agua con fines poblacionales según el balance hídrico de la subcuenca Shullcas?

1.2. Antecedentes

1.2.1. Antecedentes Nacionales

Ramos (2018) en su tesis titulada *Evolución de la cobertura glaciaria del nevado Coropuna y su relación con el entorno climático*.

Busca establecer la dinámica de la cobertura glaciaria del Nevado Coropuna y la relación con el entorno climático, donde se analiza la precipitación y temperatura de estaciones de su entorno. Se utilizó las imágenes del satélite Landsat 5 Tm y Landsat 8 OLI para un periodo de 1987 al 2015. Mediante el NDSI se llegó a la conclusión que este nevado ha perdido 10.39 km^2 y un estimado volumétrico de 0.73 Km^3 .

Mediante la información histórica de meteorología de estaciones de influencia al estudio en los periodos 1965 al 2014 se logró concluir que hubo cambios marcados en la disminución de la precipitación en la parte alta del glaciar y un aumento en las zonas bajas y en cuanto a la temperatura se observó que presenta anomalías en los eventos ENSO con las precipitaciones y aportes del glaciar.

Rojas (2018) en su tesis titulada *Relación de las variables meteorológicas y la fusión glaciaria de la zona de ablación y acumulación del glaciar Artesonraju y la estimación del volumen de agua aportado a la microcuenca, para los años hidrológicos 2004 al 2016*.

Se busco relacionar las variables meteorológicas frente a la fusión del glaciar Artesonraju mediante un balance de masa, para conocer el aporte de agua del glaciar. Se asocio quince ecuaciones mediante la regresión simple y luego se buscó asociarla en una ecuación de regresión lineal múltiple, el cual expresa la regresión del glaciar de forma conjunta frente a cinco variables meteorológicas con un coeficiente de correlación $R_2 = 0.516$. Por último, se estimó el agua que aportó el nevado a la microcuenca y fue de $58\,992\,682 \text{ m}^3$ en los periodos 2004 al 2016.

Paucar (2018) en su tesis titulada *Estudio del retroceso glaciar en el santuario nacional de ampay y determinación de su influencia en la agricultura de la comunidad de Huayllabamba, distrito de Abancay, año 2016.*

Busca relacionar las variables de la dinámica del glaciar Ampay y la producción agrícola en la comunidad de Huayllabamba para determinar su influencia. La técnica que se utilizó para medir la percepción de los productores agrarios es de 18 preguntas y para el cálculo del retroceso glaciar se utilizó 10 imágenes Landsat entre los años 1991 al 2017. Para llegar a las conclusiones se utilizó la estadística no paramétrica y la comprobación de la hipótesis, RHO Pearson y se llegó que ha y una influencia negativa e inversa a la producción agrícola en dicha comunidad.

Echegaray (2015) en su tesis titulada *Efecto de la cobertura vegetal nativa sobre la desglaciación del nevado Huaytapallana en diferentes altitudes.*

Busca determinar el efecto de la cobertura vegetal nativa frente al retroceso glaciar Huaytapallana en diferentes altitudes, donde se logra asociar las imágenes satelitales y la meteorología, los cuales son relacionados estadísticamente. Se definido que la cobertura vegetal ejerce la influencia en la temperatura y humedad representada en la ecuación; $Y = 0.0319X - 0.1258$, donde la pérdida de masa glaciar es de 0.74 cm^3 en los periodos de estiaje. El área colindante a la cobertura vegetal influyo en la evolución del manto y acumulación de hielo mediante la ecuación; $Y = 1.7143x + 14.60$, que menciona cuando hay cobertura vegetal se acumula mayor hielo ya que este cambia las variables meteorológicas por el efecto de la vegetación y el aporte glaciar ha sido 27.08 con base vegetal y de 7.25 con base de suelo desnudo.

Tarazona (2012) en su artículo científico denominado *Aplicación de la teledetección para el análisis multitemporal del retroceso glaciar en el Nevado Pastoruri*.

La teledetección es una herramienta moderna para caracterizar y calcular aspectos geográficos en la imagen satelital, la superficie terrestre responde a diferentes espectros de longitud de onda en el sensor del satélite y por ende poseen una firma espectral particular cada cobertura, la calibración de las imágenes en radiancia, la corrección atmosférica por el método (Quick Atmospheric Correction) se realizó a las imágenes del nevado Pastoruri para luego recortar el área de interés y caracterizar la imagen con el análisis NDSI, y así distinguir la superficie glaciar y delimitarla mediante el software ENVI 4.8, el cual calcula el valor en área de la cobertura del glaciar multitemporal en función al tamaño de los píxeles de la imagen satelital. Con los valores obtenidos se realiza un estudio estadístico de extrapolación de área glaciar frente los años de estudio. Se concluye que los glaciares tropicales que están por debajo de los 4500 m.s.n.m. desaparecerán para el año 2050.

Loroña (2011) en su tesis denominada *Evolución de la cobertura glaciar en la subcuenca de Quillcay y la influencia en su rendimiento hídrico*.

La Subcuenca Quillcay ubicada en el distrito de Independencia y Huaraz presenta una cobertura glaciar de 248.82 km² el año 2011 y está sometida al retroceso glaciar por efecto del cambio climático, mediante el análisis histórico de imágenes satelitales y evaluaciones hidrológicas se busca conocer la dependencia del caudal del río Quillcay con la fusión del glaciar. La disminución de la cobertura es del 46% durante el periodo (1970 - 2011) con un retroceso anual muy marcado de 0.57 km²/año, y en cuanto a su espesor la tasa de retroceso es de 2.75 m, con una variación en volumen de agua de 1883 mmc según el método topográfico. El comportamiento hídrico de los

caudales medidos en la estación hidrométrica Quillcay, para un área de drenaje de 248.82 km² es de 7.11 m³/s y el aporte de caudal por el nevado es de 3 m³/s. La precipitación total media anual de la cuenca es de 892.9 mm, produciéndose el 61% de la lluvia en los meses de diciembre, enero, febrero y marzo, donde el mes más lluvioso fue de marzo con 170.2 mm. El aporte medio por escurrimiento e infiltraciones del nevado es de 3.5 m³/s.

Vásquez-Garay (2002) menciona en su tesis denominada *Huella hídrica y sostenibilidad en la subcuenca del río Shullcas, provincia de Huancayo, Región Junín*.

El estudio consiste en reformular un Plan de Manejo Ambiental de la Sub cuenca del Río Shullcas a fin de recuperar y conservar los recursos naturales como parte del desarrollo integral equilibrado y dinámico, para el procedimiento económico y la igualdad social a largo plazo.

Se ha realizado considerando la problemática actual y su priorización para ello se utilizó como estrategia de desarrollo y toma de decisiones la zonificación ecológica y económica como herramientas de gestión que permitirá localizar en forma geográfica de acuerdo a su potencial productivo, vulnerabilidad y las acciones a tomar para el manejo ambiental de la Subcuenca son las siguientes: Represamientos, derivación y obras de defensa ribereña, implementación de áreas de reserva natural, desarrollo de terrazas de formación lenta y cercos vivos, estabilización de cárcavas, forestación y reforestación, mejora del sistema de producción agrícola, desarrollo turístico, módulo de desarrollo ganadero, programa de capacitación de artesanos.

Arroyo J., y Gurmendi P. (2012) en su artículo científico *Cambios en el régimen hídrico de la laguna Lasuntay y Chuspicocha por variaciones en el Nevado Huaytapallana.*

La investigación expone los cambios en el régimen hídrico de las lagunas en estudio están ligados al cambio temporal de las estaciones del año y a la variación del glaciar Huaytapallana, mediante el balance de masa del glaciar, el cálculo de volúmenes de agua de los torrentes a partir de la instalación de una red de balizas en la zona de acumulación y ablación en la mayor parte del glaciar se mide la acumulación de nieve desde el inicio al fin del año hidrológico.

Donde se estimó que el nevado emana a las lagunas Lasuntay y Chuspicocha un caudal de 1 226 700 m³ en la estación de verano y 245 340 m³ en la estación de primavera, el cual demuestra que está relacionado directamente con la disponibilidad hídrica. El estudio define patrones de acumulación de nieve, precipitación, caudal del torrente de agua del glaciar y su temperatura de fusión durante el transcurso del día y la acentuación del año hidrológico en el nevado Huaytapallana.

1.2.2. Antecedentes Internacionales

Comunidad Andina (2007) en la revista científica *¿El fin de las cumbres nevadas? Glaciares y Cambio Climático en la Comunidad Andina.*

Los temas de investigación que se abarcan son diversos realizándose en los principales glaciares tropicales andinos de Bolivia, Ecuador y Perú en las últimas décadas poniendo en conocimiento el estado de los glaciares y el efecto climático. Los Andes Centrales albergan el 99% de los glaciares tropicales del mundo. A pesar de su modesta extensión (2.500 Km²), los glaciares andinos son de interés dado que: (1) son importantes indicadores del cambio climático, (2) juegan un importante rol en el manejo del recurso hídrico, (3) actúan como reguladores del régimen hidrológico en

casi todas las regiones andinas, y (4) pueden ser directa o indirectamente, causa de catástrofes.

Los estudios desarrollados sobre los Andes Centrales, muestran dos tendencias importantes en los últimos años: un retroceso acelerado de los glaciares y el calentamiento de la atmósfera (0.15° C por década desde 1950). El clima en los Andes tiene particularidades regionales, marcadas entre otras cosas, por su relación con los eventos ENSO (El Niño Southern Oscillation). Los eventos ENSO cálidos y fríos (los más intensos conocidos como el Niño y La Niña) son asociados a un aumento de entre 1 y 3°C en la temperatura atmosférica en los Andes.

1.3. Objetivos

1.3.1. *Objetivo General*

Determinar el modelo numérico que asocie las variables de rendimiento hídrico y retroceso glaciar con la finalidad de predecir escenarios futuros de disponibilidad hídrica en la subcuenca del Shullcas con fines poblacionales.

1.3.2. *Objetivo Especifico*

- Determinar la variación multitemporal del área del glaciar Huaytapallana durante el periodo de 1984 al 2019, para estimar la tasa anual del retroceso glaciar mediante la técnica de teledetección.
- Determinar el rendimiento hídrico de la subcuenca Shullcas.
- Conocer la dinámica del aporte hídrico del glaciar a la subcuenca Shullcas.
- Determinar el comportamiento de los factores meteorológicos en la zona de influencia de la subcuenca Shullcas.
- Realizar el balance hídrico superficial de la subcuenca Shullcas con fines poblacionales.

1.4. Justificación

En la actualidad la explosión demográfica ha incrementado la demanda del recurso hídrico con características físicas, químicas y biológicas determinadas (Estándares de Calidad de Agua), donde las reservas y fuentes son puntuales y escasas. Esto ha conllevado a realizar la presente investigación multidisciplinaria para conocer y estimar las reservas de agua dulce, observando el comportamiento en el tiempo y acercándose más a la realidad de la naturaleza.

Los indicadores de: variación multitemporal del glaciar, balance hídrico de la subcuenca y el consumo poblacional de agua dulce, no presentan proyecciones en la actualidad por la escasa información, el crecimiento demográfico no planificado y el cambio climático. Por ello; en este estudio, se integrará un modelo numérico en base a las ecuaciones de: dinámica de la cobertura del glaciar Huaytapallana y el rendimiento hídrico de la subcuenca Shullcas, donde la estimación de datos será eficiente y practica para ayudar en la planificación, gestión y uso racional del recurso hídrico en los diferentes sectores atenuando los impactos negativos del cambio climático en los años venideros.

Importancia

El presente estudio ayudara a entender la dinámica del comportamiento hídrico de la subcuenca Shullcas frente al cambio climático y poder predecir la disponibilidad de agua dulce para la población en los años venideros. Contribuir con la aplicación de nuevas tecnologías informáticas: como el análisis multitemporal de imágenes satelitales con el software ENVI 5.3, modelamiento numérico con el software IBM SPSS Statistics 25, MiniTab y sistemas de información geográfica con la aplicación del ArcGis 10.6, que en su conjunto presentaran los resultados de forma sencilla y practica para el entendimiento de la población interesada.

1.5. Hipótesis

H_i: El proceso de desglaciación del Huaytapallana es trascendental en la disminución del rendimiento hídrico de la subcuenca Shullcas.

H₀: El retroceso del glaciar Huaytapallana no tiene relación intrínseca directa con el rendimiento hídrico de la subcuenca Shullcas.

II. Marco teórico

2.1. Aspectos normativos ambientales

- La constitución política del Perú, cita en su artículo 2, inciso 22 el derecho a gozar de un medio ambiente adecuado y equilibrado.
- Mediante el D.S. N° 018-2011-MINAM, se le asigna como área de conservación regional Huaytapallana el 21 de julio del 2011, con 22 406.52 hectáreas.
- Ley de los Recursos Hídricos: Ley: 29338: Menciona como debe ser uso de los recursos hídricos – Titulo III, Derechos de uso de agua – Titulo IV, Protección del agua – Titulo V, Régimen económico por el uso del agua – Titulo VI.
- Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua y disposiciones complementarias, se dispone los valores de concentraciones de los parámetros en agua en sus diferentes categorías para su aprovechamiento.

2.2. Hidrología

Es la ciencia natural que se encarga del estudio del agua, su ocurrencia, distribución, circulación, propiedades físicas, químicas y mecánicas en los océanos, atmósfera y superficie terrestre incluyendo su relación con los seres vivos, ello incluye los siguientes procesos en el sistema hídrico como: precipitación, escorrentía, evapotranspiración, humedad del suelo y equilibrio de la masa glaciar (U.S. Federal Council for Science and Technology, 1962).

La hidrología como ciencia describe los procesos que rigen el agotamiento y la recuperación de los recursos hídricos en el continente en sus diversas fases del ciclo hidrológico (Organización Meteorológica Mundial, 1980).

2.2.1. Ciclo hidrológico.

Es la sucesión de etapas que atraviesa el agua al transitar de la tierra a la atmósfera y viceversa: evaporación desde el suelo, mar o aguas continentales, condensación de nubes, precipitación y acumulación en el suelo o masas de agua. El ciclo hidrológico involucra un proceso de transporte periódico e indefinido que se rige a dos causas: la primera, el sol proporciona la energía para elevar el agua (evaporación); la segunda, la gravedad terrestre y la temperatura de la atmósfera hace que el agua condensada descienda como precipitación y escurrimiento (Chereque, 1989).

Figura 1

El ciclo hidrológico o ciclo del agua



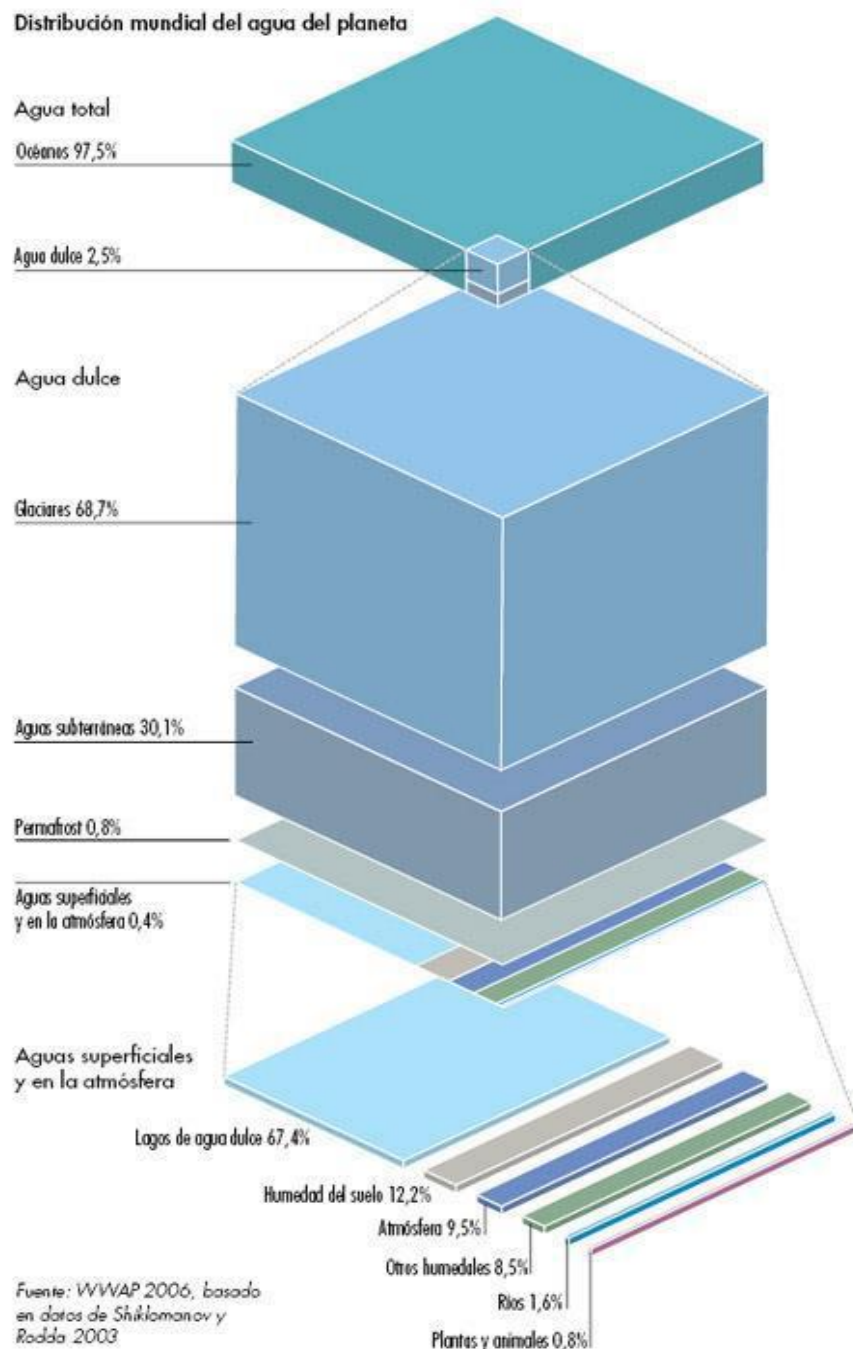
Nota. Cortesía de U.S. Geological Survey, 1995.

2.2.2. Distribución del agua en la tierra

La mayor parte de agua en nuestro planeta es salada que está conformada por los océanos, aunque es difícil calcular la proporción se ha determinado por las ONU en su publicación GEO4: Perspectivas del Medio Ambiente Mundial (WWAP 2006). Donde menciona que el agua dulce del planeta es solo el 2.5% que se encuentran en sus diversos estados sobre y debajo de la superficie de la tierra, el agua superficial solo representa el 0.4%.

Figura 2

Proporciones y distribución del agua en la tierra



Nota: Cortesía de WWAP, 2016. Basados en datos de Shiklomanov y Rodda.

El 97.5% del agua del planeta es salada y ese 2.5% significa toda el agua dulce del planeta conformado por glaciares, agua subterránea, agua superficial y la atmósfera, lo que confirma que la disponibilidad de agua de consumo humano es escasa con una distribución no uniforme en la tierra.

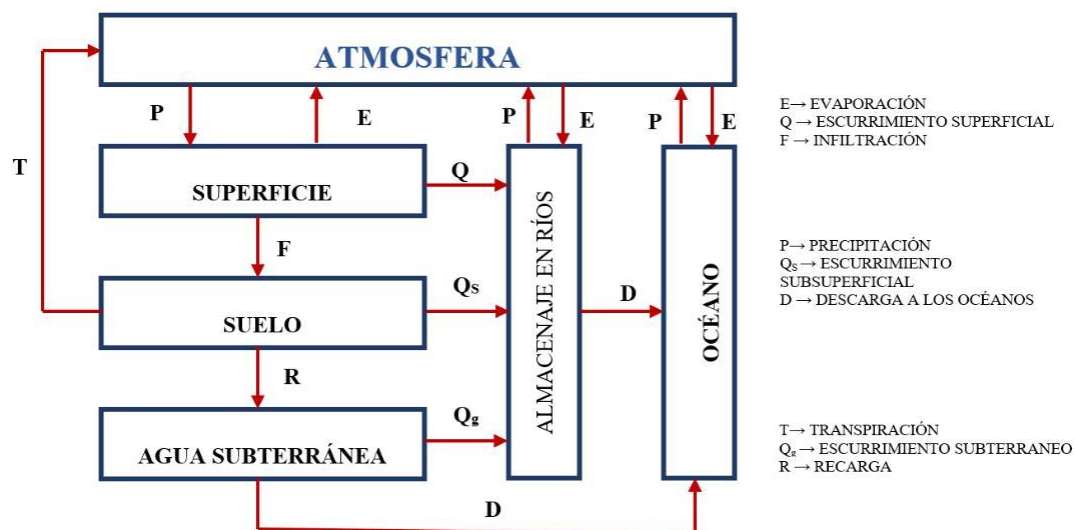
2.2.3. Sistemas hidrológicos

Los procesos hidrológicos son muy complejos, ya que no serán totalmente conocidos. Por lo tanto, a falta de una concepción perfecta, se pueden representar de una manera simplificada mediante el concepto de sistema (Guevara y Cartaya, 1991).

Un sistema viene a ser un conjunto de partes diferenciadas que interactúan como un todo. El ciclo hidrológico podría considerarse como un sistema, cuyos componentes interactúan con la energía solar: precipitación, evaporación, escorrentía, y las otras fases del ciclo. (Estrella, 1992).

Figura 3

Representación del sistema hidrológico



Nota: Representa los flujos en el sistema hidrológico y la interrelación que tiene con cada elemento natural. Adaptado de Estrella, 1992.

2.2.4. Precipitación

La precipitación es toda agua meteórica que cae en la superficie de la tierra, tanto en forma líquida (llovizna, lluvia, etc.) y sólida (nieve, granizo, etc.) y las precipitaciones ocultas (rocío, la helada blanca, etc.). Ellas son provocadas por un cambio de la temperatura o de la presión. La precipitación constituye la única entrada principal al sistema hidrológico continental (Musy, 2001).

La precipitación da origen a todas las corrientes superficiales y agua subterránea

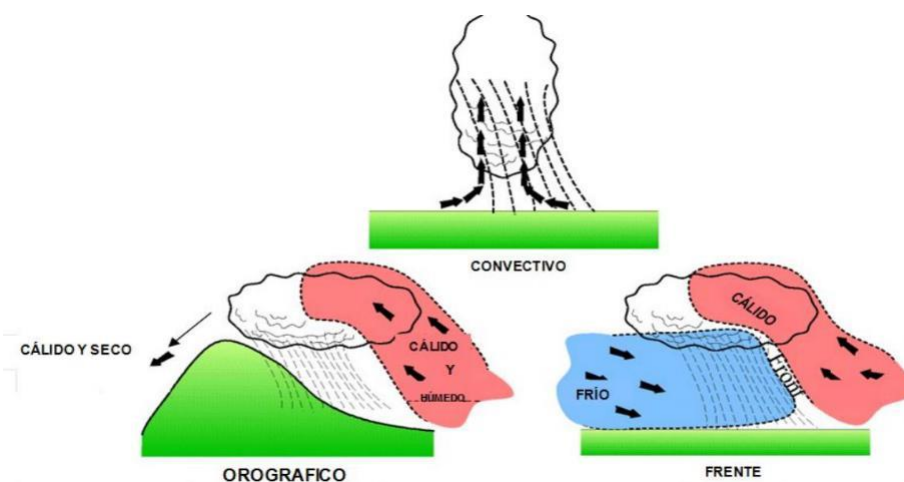
disponible, las lluvias hacen que la disponibilidad de agua sea continua y estas se pueden generar de las siguientes formas.

a. Clasificación de precipitación por su forma de origen

- Precipitación Convectiva: Se dan por el rápido ascenso de las masas de aire cargadas de humedad en la atmosfera, están asociadas a las nubes cúmulos y cumulonimbos que se generan por el proceso de Bergeron, su precipitación es tempestuosa de fuerte intensidad con áreas pequeñas y generalmente con duración menor a una hora.
- Precipitación Orográfica: Este tipo de lluvia está relacionado a la existencia de una barrera topográfica como una montaña con características de altura, pendiente. Este tipo de lluvias es de intensidad y frecuencia regular.
- Precipitación Frontal o del tipo Ciclónica: Se generan por superficies de contacto entre la temperatura de masas de aire y el gradiente térmico vertical, la humedad y los diversos índices de recorrido que se conocen como frentes. Los frentes fríos generan precipitaciones cortas e intensas mientras que los frentes calientes generan precipitaciones de larga duración pero que no son intensas.

Figura 4

Principales tipos de precipitación: convectiva, orográfica y frontales por su origen



Notas: Se expresa las formas como se puede generar la lluvia en un determinado lugar geográfico.

Fuente: Musy, Andre, 2001.

b. Por su forma y estado de precipitación

Se pueden distinguir diversos tipos de lluvias, los de mayor interés son:

- Lluvia: Precipitación de gotas en estado líquido, que presenta un diámetro igual o mayor a medio milímetro con una velocidad superior a dos metros por segundo, según su intensidad puede ser ligera para tasas de caída hasta los 2.5 mm/h, moderada en el intervalo de 2.5 a 7.5 mm/h y fuerte por encima de 7.5 mm/h.
- Llovizna: Precipitación líquida con diámetro inferior a medio milímetro que da la apariencia de estar flotando en el aire y algunas veces generan la niebla.
- Aguacero: Precipitación líquida o sólida de extraordinaria intensidad su duración es corta, su inicio y final es abrupto.
- Nieve: Son agrupaciones cristalinas de hielo en estrellas hexagonales que se producen cuando la temperatura del aire es menor a los -10°C , por lo general presenta una densidad de 0.1 g/m^3 .
- Escarche: Cristales diminutos de hielo con forma de escama o agujas que se crea por el agua que se encuentra en el aire que pasa de forma directa al estado sólido en las superficies muy frías, su densidad puede ser de 0.8 a 0.9 g/m^3 .
- Granizo: Precipitación de granos de hielo sólido que se producen en las nubes tipo cumulonimbos por procesos convectivos, pueden tener forma esférica, cónica o irregular. Su densidad promedio es de 0.8 g/m^3 y su diámetro varía de los 5 a 50 mm.
- Rocío: Gotas de agua debidas a la condensación directa del vapor de agua que están cerca de superficies frías.

c. Medición de la precipitación

- **Pluviómetros.** Es un recipiente abierto de bordes verticales muchos de ellos contienen un colector cubierto de un aceite para evitar la evaporación y otros poseen un contador de balance, su objetivo es medir la cantidad de agua en milímetros por hora.
- **Pluviógrafos.** Este instrumento está destinado a medir la distribución de la lluvia en el tiempo para un determinado punto fijo entre los más utilizados tenemos: los de flotador sin sifón automático, flotador con sifón automático, de balanza y de oscilación.
- **Estaciones meteorológicas automáticas.** Es una mezcla de un equipo mecánico con sensores electrónicos que guardan y registran los datos de forma automática.

2.2.5. *Escurrimiento*

Se define al escurrimiento superficial como el agua líquida que se desliza por el terreno hacia los cauces de drenaje durante y después de ocurrida la lluvia. Este escurrimiento marca el exceso de la capacidad de infiltración del suelo.

a. Ciclo del escurrimiento

Se compone de varias fases.

- **Fase 1.** Se da en un período sin lluvia, que corresponde a la época de estiaje, el nivel de la napa freática es bajo y está descendiendo continuamente.
- **Fase 2.** Se presenta al iniciar el periodo de lluvia y se divide en precipitación directa en el cauce, intercepción por la vegetación, retención en depresiones, e infiltración. El agua que infiltra ocasiona un incremento gradual de agua en la zona de aireación. El escurrimiento es casi nulo (excepto en suelos impermeables).
- **Fase 3.** El escurrimiento ocurre cuando la lluvia excede la infiltración, pudiendo

llegar a uno de los cauces naturales en función de la capacidad de retención de los suelos. El agua que infiltra satura la zona de aireación, la napa comienza a elevarse y el escurrimiento subterráneo se incrementa hasta contribuir al escurrimiento superficial. Como la zona de aireación está saturada, también contribuye al escurrimiento subsuperficial.

- Fase 4. El nivel freático se eleva constantemente hasta que el escurrimiento subterráneo se equilibra con la capacidad máxima de recarga posible y toda la lluvia se convierte en incremento directo del escurrimiento superficial (sucede especialmente en zonas bajas con prolongadas lluvias).
- Fase 5. Comprende al período entre la terminación de la lluvia y el momento en que es alcanzado el máximo nivel de aguas. El agua que se encuentra en la zona de aireación es alcanzada por los niveles freáticos. El escurrimiento superficial es mantenido por los escurrimientos subsuperficiales y subterráneos que afloran, así como por los pequeños almacenamientos superficiales.

2.2.6. Infiltración

Se denomina al proceso donde el agua penetra de la superficie del terreno hacia el suelo. Al iniciar la etapa satisface la deficiencia de humedad del suelo en una zona cercana a la superficie, y posteriormente superado cierto nivel de humedad, pasa a formar parte del agua subterránea, saturando los espacios vacíos.

- a. Capacidad de infiltración. Es la cantidad máxima de agua que puede absorber un suelo en determinadas condiciones, valor que es variable en el tiempo en función de la humedad del suelo, el material que conforma al suelo, y la mayor o menor compactación que tiene el mismo. Los factores que afectan la infiltración son los siguientes: Entrada superficial, transmisión a través del suelo, la permeabilidad y las características del fluido.

b. Ensayos de infiltración. Se puede obtener mediante métodos directos e indirectos.

- Lisímetros. Es un equipo de medición que está introducido en el suelo, relleno con el mismo terreno y se usa para medir la evapotranspiración de un cultivo.
- Infiltrómetros. Se utiliza para realizar el ensayo de infiltración en campo que consiste en dos tubos de 35 y 23 centímetros que se inundan y se miden ambas partes.
- Ensayo de Infiltración. Es la prueba que se realiza en un laboratorio teniendo mejor control en las variables, se reproduce las características naturales.

2.2.7. Problemas hídricos.

Los problemas que afronta el país es la poca disponibilidad de recurso hídrico según el ANA, 2009. Según las hojas de vertimiento se dispone de 37363 MMC para la vertiente del Pacífico, 1998752 MMC para la vertiente del Atlántico y 10172 MMC para la vertiente del lago Titicaca que son un total de 2046287 MMC.

La capital del país presenta una disponibilidad hídrica de 157 m³/año y según la clasificación de Falkenmark (1993), presenta es la extrema en su grado de disponibilidad.

La agricultura consume la cantidad de 20072 MMC/año y la industria 1150 MMC/año, que son los sectores que representan la mayor demanda de agua dulce en el país.

La problemática del agua potable en el país es aún marcada por que un 86.9% de Lima Metropolitana no presenta agua en sus hogares. Mientras que en los pueblos del interior del país los lugares con menos de 2000 habitantes presentan junta de usuarios de riego y consumo. La cantidad de agua con calidad de consumo humano es muy escasa por ello es un problema actual que se debe solucionar generando conciencia de su uso, racionamiento adecuado y obras de infraestructura de carácter hidráulico con proyección a las generaciones futuras.

2.3. Cuenca hídrica

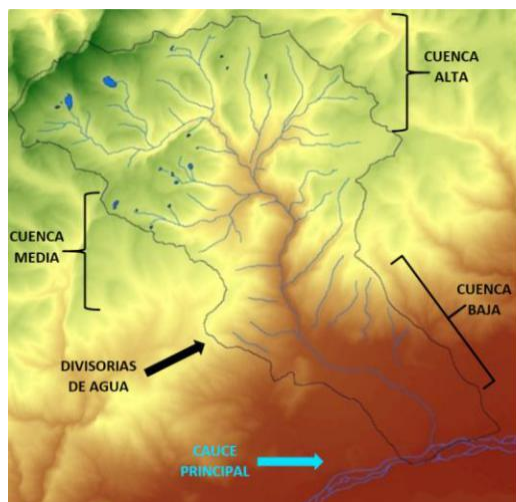
2.3.1. Definición de cuenca hídrica.

Es la unidad hidrológica superficial que consiste en un área de captación de precipitación en forma natural de las lluvias y convergen en un único punto de salida que se le denomina exutorio. La cuenca hídrica está compuesta de una red de drenaje de cursos de agua, delimitada geográficamente por el *divortium aquarum* o divisoria de aguas.

La cuenca hidrográfica es la unidad administrativa del agua en forma funcional que regula administrativamente el manejo del recurso hídrico en forma estratégica con fines de conservación y mejora de la calidad de agua en el futuro.

Figura 5

Representación y delimitación de una cuenca hídrica



Nota: Partes de una cuenca hídrica enfocados a su altitud. Elaboración Propia.

2.3.2. Componentes principales de la cuenca

- a. Divisoria o partes de aguas: Se denomina a la línea imaginaria que divide el escurrimiento del agua que se ha originado por la precipitación pluvial.
- b. Vertientes: Es el área comprendida entre la divisoria de aguas y el cauce.
- c. Cauce: Es el lugar por donde fluye el agua por tener una diferencia de cotas en su inicio y final, el punto más bajo de un río se le denomina TALWEG.

- d. Valle: Es el área relativamente plana que se encuentra entre montañas que se encuentra atravesado por un río.
- e. Inter flujos: Es el área no considerada parte de la cuenca por situarse entre dos cuencas, también se les conoce con el nombre de intercuenas.

2.3.3. Tipos de cuenca.

- a. Según el destino de su escurrimiento de sus cauces.
- Cuenca endorreica: Se denomina a toda área hidrográfica que no tiene salida fluvial al océano, el cual se almacena en una parte topográficamente formando un lago, que se caracteriza por acumular sales por evaporación.
 - Cuenca exorreica: Es un sistema hídrico que tiene como exutorio al mar o un río de mayor significancia para verter el agua que se concentró en su área
 - Cuencas arreicos: Es cuando el curso de agua se pierde por la infiltración y la evaporación en su recorrido y no llega al mar ni a un lago.

Figura 6

Tipos de cuencas según el destino de su escurrimiento



Nota: Las cuencas hídricas en el país son de tipos abiertas, cerradas y presentamos dos vertientes marcadas por la cordillera de los Andes. Extraído de Aparicio, 1992.

b. Según el tamaño del área que encierra el sistema hídrico (Campos, 1992).

Tabla 1

Clasificación de cuencas hídricas según su área

| Tamaño Km² | Descripción |
|------------------------------|----------------------|
| < 25 | Muy pequeña |
| 25 a 250 | Pequeña |
| 250 a 500 | Intermedia - pequeña |
| 500 a 2500 | Intermedia - grande |
| 2500 a 5000 | Grande |
| > 5000 | Muy grande |

Nota: Las cuencas se pueden clasificar según el tamaño de su superficie. Adaptado: Campos, 1992.

c. Según su altitud y partes de la cuenca:

- Cuencas de altas. Es la parte de la cuenca donde nacen los ríos, en esta zona presenta fuerte pendiente, su perfil transversal tiene forma de V, aquí aún no existe el valle generalmente la base de las montañas es el cauce del río.
- Cuencas medias. Se encuentran al finalizar la zona de montaña, aquí el cauce del río es torrentoso.
- Cuencas bajas. Es la zona de deposición o confluencia con el río receptor, es donde se asientan generalmente los centros poblados por ser su topografía llana y suelos fértiles aptos para la agricultura el río presenta plenitud.

d. Según la escala de representación la clasificación de cuencas propuesto por la (SARH, 1987).

Tabla 2*Clasificación del tamaño de una cuenca según SARH*



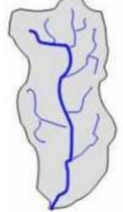
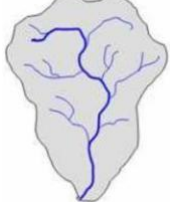
| Escala | Descripción |
|-------------------------|----------------------|
| 1:1 000 000 a 1:500 000 | Región Hidrológica |
| 1:500 000 a 1:200 000 | Cuenca |
| 1:250 000 a 1:100 000 | Subcuenca |
| 1:100 000 a 1:50 000 | Subcuenca tributaria |
| 1:50 000 a 1:10 000 | Subcuenca específica |
| 1:20 000 a 1:10 000 | Microcuenca |

Nota: Extraído de SARH, 1987.

2.3.4. Parámetros forma de la cuenca.

- a. Área de la cuenca (A): Es el área plana de proyección horizontal que está encerrada por la divisoria de aguas se representa en Km^2 o hectáreas Ha. Una cuenca pequeña está regida a sus características físicas de su suelo y cobertura vegetal, el hombre puede tener algún control en ella, pero en una cuenca grande el efecto de almacenamiento es pronunciado por su cauce principal (Chow, 1962).
- b. Perímetro de la Cuenca (P): Es la medición de la línea divisoria de aguas, esta línea imaginaria es la que encierra a la zona de escurrimiento, se mide en Kilómetros.
- c. Longitud del Cauce (L_c): Es la longitud que se mide desde el punto de salida de río hasta el límite de la divisoria paralela al cauce principal, se mide en kilómetros Km.
- d. Ancho medio de la Cuenca (A_p): Se le denomina al ancho promedio de las secciones
- e. Factor de forma de la Cuenca (F_f): Esta ligada a la característica de descarga de la corriente en los eventos de flujo máximo, los escurrimientos de una cuenca de forma circular son diferente a una estrecha o alargada (Strahle, 1964).

Tabla 3*Clasificación de una cuenca según el factor de forma*

| Ítem | Factor de Forma F_f | Indicador | Producción sostenida de Caudales | Potencial a crecientes | Ilustración |
|------|-----------------------|-------------|----------------------------------|------------------------|---|
| 1 | Estrecha | 0 – 0.25 | Bajo | Bajo |  |
| 2 | Alargada | 0.25 – 0.50 | Moderado | Moderado |  |
| 3 | Amplia | 0.20 – 0.75 | Alto | Alto |  |
| 4 | Ancha | 0.75 – 1.00 | Muy Alto | Muy Alto |  |

Nota: Un indicador para conocer el comportamiento del escurrimiento de la cuenca. Extraído de Strahle, 1964.

- Índice de Horton (R_f). Es un factor adimensional que sustenta el índice de forma de una cuenca (Horton, 1932).

$$= \frac{A}{L_c^2}$$

Ecuación 1

Donde: R_f = Índice de forma, A = Área de la cuenca, L_c = Longitud de la cuenca.

- Índice de Gravelius o Compacidad (IC). Se denomina al cociente adimensional entre el perímetro de la cuenca (P) y el perímetro de un círculo con área (A) igual a la cuenca.

$$= \frac{0.282 *}{\sqrt{\dots}}$$

Ecuación 2

Tabla 4*Determinación geométrica de una cuenca según el índice de Gravelius*

| Clase | Rango | Forma | Característica |
|-------|-------------|-----------------------------|--|
| Kc 1 | 1.0 - 1.25 | Casi redonda a oval redonda | Mayor grado de susceptibilidad a crecidas, por lo tanto, se debe hacer un mejor manejo a la microcuenca. |
| Kc 2 | 1.25 - 1.50 | Oval redonda a oval oblonga | Mediana susceptibilidad a la torrencialidad. |
| Kc 3 | 1.50 - 1.75 | Oval oblonga a rectangular | Presenta menor grado de susceptibilidad a crecidas. |

Nota: Extraído de Strahle 1964.

- Relación de Elongación (R_e). Es definida como el cociente adimensional entre el diámetro (D) de un círculo de la misma área de la cuenca (A) y la misma longitud de la cuenca (L_c), (Ward, 1975).

$$= \frac{1.1284 \cdot \sqrt{A}}{L_c}$$

Ecuación 3

f. Rectángulo Equivalente (R_e):

$$= \frac{L^2 - l^2}{4Ll} = \frac{L^2 - l^2}{4Ll}$$

Ecuación 4

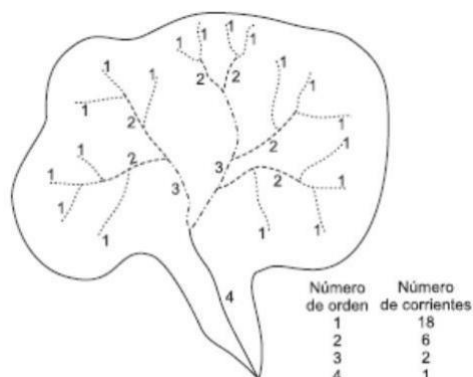
Donde: L=lado mayor de la cuenca, l=lado menor, P=perímetro de la cuenca y A= área de la cuenca.

2.3.5. Parámetros de la red hidrográfica.

- Numero de orden de cauce y colector principal: Permite jerarquizar los cauces para tener una mayor comprensión de la complejidad y desarrollo del sistema de drenaje de la cuenca. El orden está ligado al caudal relativo del segmento de un cauce. Hay varios sistemas para ordenar, siendo los más utilizados el de Horton (1945) y el de Strahler (1952).

Figura 7

Representación del orden de ríos en una cuenca



Nota: Se expone como los cauces se van sumando según se unen con otros cauces, el que tenga mayor valor siempre será la salida y es el caudal de la cuenca. Extraído: Horton, 1945.

- b. Relación de bifurcación (R_b): Es un modelo para ordenar los canales de la cuenca, se puede definir como el resultado de dividir el número de canales de un orden dado entre el número de canales inmediatamente superior. Las cuencas que presentan mayor disección tienen un orden de cauce alto y los suelos son relativamente impermeables; entonces, la respuesta a una tormenta es rápida (Aparicio, 1996).

=

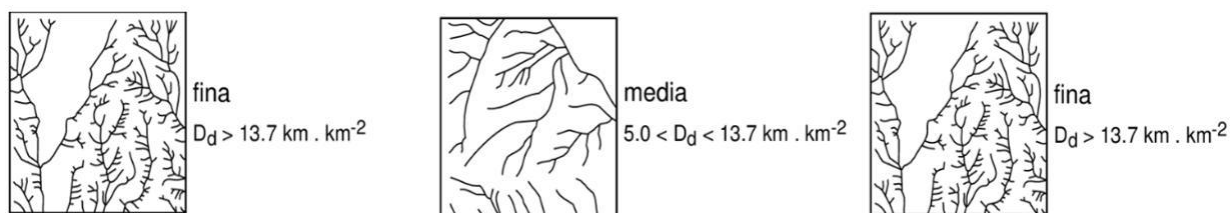
Ecuación 5

Donde: N_n es el número de canales de orden n y N_{n+1} es el número de canales de orden $n+1$.

- c. Densidad de drenaje (D_d): Se calcula dividiendo la longitud total de las corrientes de la cuenca por el área total.

Figura 8

La densidad de drenaje en una cuenca



Nota: Extraído de Miller, 1957.

$$= \frac{\Sigma}{\dots}$$

Ecuación 6

Donde: Densidad de drenaje (Km/Km^2), L = Longitud total de los cauces (Km), A = Área total de la cuenca (Km^2).

Se clasificará según Fuentes Junco (2004) y Delgadillo y Páez (2008).

Tabla 5

Clasificación de la red de drenaje en una cuenca

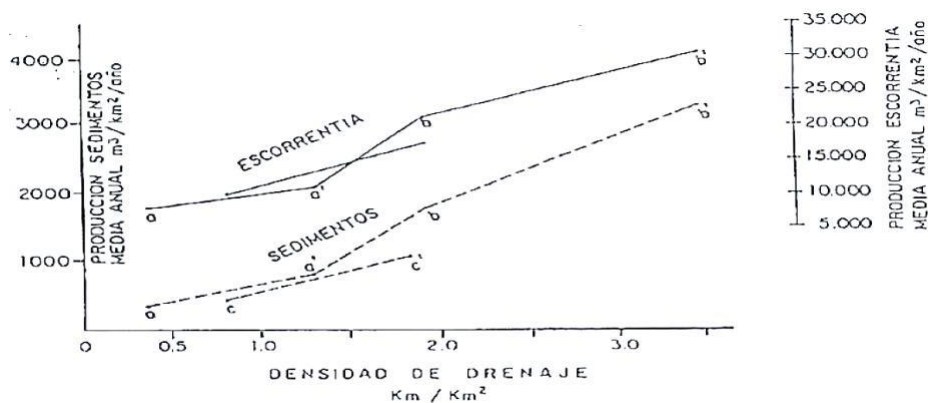
| Rangos (Km/Km^2) | Clases | Rangos (Km/Km^2) | Clases |
|------------------------------------|----------|------------------------------------|----------|
| 0.1 – 1.8 | Baja | < | Baja |
| 1.9 – 3.6 | Moderada | 1 - 2 | Moderada |
| 3.7 – 5.6 | Alta | 2 - 3 | Alta |
| | | > 3 | Muy alta |

Extraído de Junco, 2004. Delgadillo y Páez, 2008.

A continuación, se muestra la relación de la densidad de drenaje y la producción de sedimentos de una cuenca hidrográfica.

Figura 9

Relación de producción de sedimentos según la densidad de drenaje



Nota: *Extraído de: Delgadillo y Páez, 2008.*

- a. Densidad de corriente (D_c): Es la relación del número total de cauces (N_u), independientemente del número de orden de cauce (u), entre el área de la cuenca (A).

Ecuación 7

- b. Extensión media del escurrimiento superficial: Se define como la distancia media que el agua de lluvia tendría que escurrir sobre los terrenos de una cuenca.

$$= \frac{4}{-} \quad \text{Ecuación 8}$$

$$= \frac{-}{.} \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde: l = Extensión media de la escorrentía superficial, en km; L= Longitud total de las corrientes de agua en la cuenca hidrográfica, en km; A: Área de drenaje total de la cuenca.

- c. Sinuosidad de las corrientes de agua (S): Se calcula a partir de la relación entre la longitud del río principal medida a lo largo de su cauce (L) y la longitud del valle del río principal medida en línea curva o recta (Lt). El valor de S es adimensional.

$$= \frac{-}{-} \quad \text{Ecuación 10}$$

- d. Pendiente media del cauce principal: La influencia de la configuración topográfica en el proceso de erosión de una cuenca y en la formación de descargas altas, se presenta de acuerdo a los mayores o menores grados de pendiente (López Cadenas de Llano, 1998). Existen varios criterios para definir este parámetro. A continuación, se muestra la relación del criterio asumido:

$$= \frac{-}{10 \cdot} \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde: Ic =Pendiente media del cauce en %; HM y Hm=Altitud máxima y mínima del cauce en msnm; L = Longitud del cauce en Km.

Se clasifican según: IBAL, 2009.

Tabla 6

Clasificación de la pendiente media del cauce principal

| Pendiente media del cauce principal (%) | Clases |
|---|----------|
| 1 a 5 | Suave |
| 6 a 11 | Moderado |
| 12 a 17 | Fuerte |

Nota: *Extraído de Jones, 1997.*

2.4. Glaciología

Se define como la ciencia que estudia todas las formas de hielo que se presentan en la

naturaleza, como en los glaciares, hielo de mar, lagos y ríos, etc. También abarca la acción que puedan generar al interactuar el hielo con estos elementos que lo rodean como las rocas, el suelo, el aire, el agua entre otros.

2.4.1. Clasificación UNESCO de glaciares.

Es una clasificación morfológica esencialmente que se basa en los siguientes criterios:

- a. Clasificación primaria, según el tipo y aspecto general del glaciar.

Tabla 7

Clasificación primaria de glaciares según UNESCO

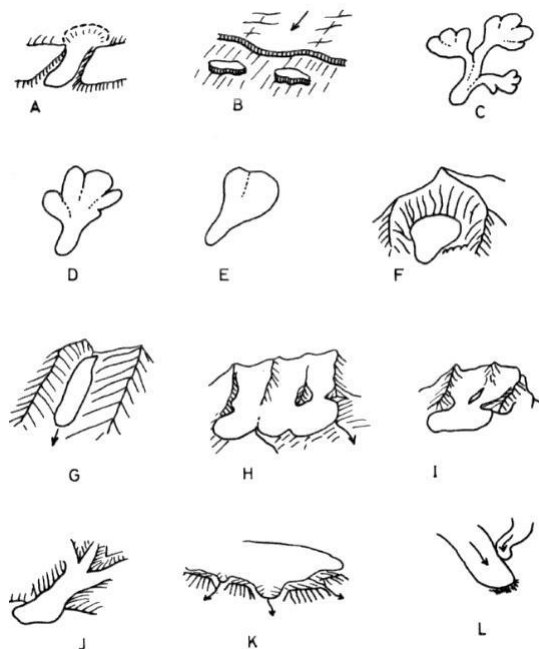
| Índice | Descripción | Ejemplo |
|--------|------------------------------|--|
| 0 | Incierto o misceláneo. | Cualquier tipo no mencionado a continuación. |
| 1 | Sabana de hielo continental. | Una masa de hielo que inunda cubriendo áreas de tamaño continental (mayores que un millón de kilómetros cuadrados) |
| 2 | Campo de hielo | Una masa de hielo de tipo sábana o manto más o menos horizontal, de espesor insuficiente para cubrir todo el relieve subglacial |
| 3 | Casquete de hielo. | Masa de hielo con forma de domo y flujo radial divergente. |
| 4 | Glaciar de desagüe | Lengua glaciar que emerge de un campo de hielo, o casquete de hielo, drenándolo parcialmente. |
| 5 | Glaciar de valle | Fluye por un valle bien definido. El área de acumulación es, generalmente, bien diferenciada. |
| 6 | Glaciar de montaña | De forma variada, a veces similar a un glaciar de valle, pero más pequeño. |
| 7 | Glaciarete | De forma indefinida que, comúnmente, se desarrollan por acumulaciones de nieve arrastrada por el viento y depositada en depresiones del terreno, lechos de río o arroyos |
| 8 | Plataforma de hielo. | Sábana de hielo flotante, de espesor considerable, unida a la costa y alimentada por glaciares desde el interior continental |
| 9 | Glaciar de roca. | Masa de hielo con detritos rocosos, cubierta de fragmentos angulosos de roca. |

Nota: Fuente UNESCO, 2008.

- b. Tipos y formas de glaciares. (A) glaciar de desagüe, (B) plataforma de hielo, (C) cuencas compuestas, (D) cuenca compuesta, (E) cuenca simple, (F) circo, (G) nicho, (H) e (I) pie de monte, (J) pie expandido, (K) lóbulo, (L) coalescente.

Figura 10

Tipos y formas de glaciares según UNESCO



Nota: Extraído de *Atlas de glaciares y aguas andinos de la UNESCO, 2008*.

c. Clasificación según la forma del glaciar.

Tabla 8

Clasificación de un glaciar según la forma

| Índice | Descripción | Ejemplo |
|--------|-------------------------------------|--|
| 0 | Incierto o misceláneo. | Un glaciar no definido |
| 1 | Cuencas compuestas. | Una o más cuencas de acumulación que dan origen a lenguas glaciares individuales |
| 2 | Cuenca compuesta | Una lengua de hielo con dos o más cuencas de alimentación |
| 3 | Cuenca simple. | Un glaciar con una sola cuenca de alimentación |
| 4 | Circo. | Glaciar que ocupa una hendidura profunda y redondeada, de paredes abruptas, en la falda de una montaña o la cabecera de un valle |
| 5 | Nicho | Pequeño glaciar desarrollado inicialmente en una hondonada o depresión en forma de V en la falda de una montaña. |
| 6 | Cráter. | Masa de hielo que se encuentra en, o dentro de, un cráter volcánico. |
| 7 | Planchón de hielo, o falda de hielo | Masa de hielo irregular y delgada, que se adhiere a la falda de una montaña, una arista, o que desciende de una cumbre. |
| 8 | Grupo. | Varias masas de hielo similares dispuestas cerca entre sí y demasiado pequeñas para numerarlas individualmente. |
| 9 | Remanente. | Masa de hielo corrientemente pequeña, abandonada por un glaciar en retroceso o separada de su fuente de alimentación. |

Nota: Extraído de *Atlas de glaciares y aguas andinos de la UNESCO, 2008*.

d. Clasificación según las características del frente del glaciar.

Tabla 9*Clasificación según las características del frente del glaciar*

| Índice | Descripción | Ejemplo |
|--------|----------------------|--|
| 0 | Normal o misceláneo. | El frente corrientemente convexo de una lengua glaciar. |
| 1 | Pie de monte | Masa de hielo formada por la unión de dos o más glaciares en tierras bajas. |
| 2 | Pie expandido | Abanico de hielo que se origina cuando la porción inferior de un glaciar abandona las paredes confinantes de un valle y se expande al llegar a una superficie menos restrictiva y más plana. |
| 3 | Lobulado | Parte de un Campo de Hielo o Casquete de Hielo, en forma de lengua, con dirección de flujo definida, más ancha que larga, drenando las márgenes |
| 4 | Desprendente | Glaciar cuya lengua terminal se extiende suficientemente en el mar o un lago como para producir témpanos. Habitualmente se trata de un frente vertical. |
| 5 | Confluente | Glaciares cuyas lenguas se unen y se tocan (coalescen), o fluyen en forma paralela, pero pueden individualizarse fácilmente por rasgos como morrenas. |
| 6 | Irregular | Principalmente hielo limpio. Glaciares de montaña o de valle. |
| 7 | Irregular | Hielo cubierto con detritos. Glaciares de montaña o de valle. |
| 8 | Lóbulo único | Principalmente hielo limpio. Glaciar de montaña o de valle. |
| 9 | Lóbulo único | Hielo cubierto con detritos. Glaciar de montaña o de valle. |

Nota: *Extraído de Atlas de glaciares y aguas andinos de la UNESCO, 2008.*

e. Clasificación según el perfil longitudinal del glaciar.

Tabla 10*Clasificación según el perfil longitudinal del glaciar*

| Índice | Descripción | Ejemplo |
|--------|----------------------------|--|
| 0 | Incierto o misceláneo | No determinado |
| 1 | Uniforme | Perfil longitudinal normal, regular, o bien uno ligeramente irregular con pequeños escalones que no desmejoran demasiado la apariencia regular. |
| 2 | Colgante | Un glaciar posado en la falda de una montaña de fuerte pendiente o fluyendo de un valle colgante. Habitualmente posee un frente desprenderte. |
| 3 | En cascada | Glaciar cuya superficie desciende en una serie de escalones prominentes, con numerosas grietas y seracs. Los escalones son producto del flujo del glaciar sobre una masa rocosa de fuerte pendiente e irregular. |
| 4 | Caída de hielo | Glaciar con una considerable caída en su perfil longitudinal en un punto, causando una superficie muy fracturada. |
| 5 | Interrumpido o regenerado. | Glaciar que se quiebra y rompe sobre una pared rocosa vertical, con desprendimientos, reconstituyéndose más abajo. |
| 6 | Ladera cubierta con neviza | Una ladera cubierta de neviza es un glaciar pequeño, formado esencialmente por neviza (nieve de más de una temporada de edad), que cubre un nicho en una ladera, con un perfil relativamente uniforme. |
| 7 | (dígito si uso). | No especifica |

| | | |
|---|---------------------|---|
| 8 | (dígito si uso). | No especifica |
| 9 | Rampa de pro-talus. | Es un pequeño glaciar similar a la ladera cubierta de neviza, pero al pie de un talus detrítico, y de perfil levemente cóncavo. |

Nota: *Extraído de Atlas de glaciares y aguas andinos de la UNESCO, 2008.*

f. Clasificación según la fuente de alimentación del glaciar.

Tabla 11

Clasificación según la fuente de alimentación del glaciar

| Índice | Descripción | Ejemplo |
|--------|--------------------------------|--|
| 0 | Incierto o misceláneo | Ninguna descripción. |
| 1 | Nieve o nieve en deriva. | La forma normal de alimentación de un glaciar es por la precipitación nival y/o por la acumulación de nieve en deriva (nieve arrastrada por el viento). |
| 2 | Avalanchas de nieve y/o hielo. | En áreas montañosas altas y de fuerte pendiente es posible que la alimentación principal de algunos glaciares provenga de avalanchas de nieve y/o hielo. Este es el caso, en particular, de glaciares de roca. |
| 3 | Hielo superpuesto. | Hielo que se forma sobre la superficie del glaciar por recongelamiento de agua, habitualmente proveniente de la fusión del manto de nieve. |

Nota: *Extraído de Atlas de glaciares y aguas andinos de la UNESCO, 2008.*

g. Clasificación según la actividad de la lengua o frente del glaciar.

Tabla 12

Clasificación según la actividad de la lengua o frente del glaciar

| Índice | Descripción | Ejemplo |
|--------|-------------------|---|
| 0 | Incierto | |
| 1 | Retroceso marcado | Igual o mayor que 20 m/año. |
| 2 | Retroceso leve | Menos que 20 m/año. |
| 3 | Estacionario | Sin cambio notorio. |
| 4 | Avance leve | Menos de 20 m/año. |
| 5 | Avance marcado | Igual o mayor que 20 m/año. |
| 6 | Posible surgente | Probable velocidad en superficie de 500 m/año, o mayor. |
| 7 | Surgente conocida | Velocidad conocida de 500 m/año o mayor. |
| 8 | Oscilante | Variaciones conocidas de la posición de la lengua, en base a observaciones regulares. |

Nota: *Extraído de Atlas de glaciares y aguas andinos de la UNESCO, 2008.*

2.4.2. Monitoreo de glaciares

Se denomina al estudio y técnica para conocer la dinámica de variables de la masa glaciar como, la altura de acumulación de nieve, su desplazamiento, la ablación, la precipitación, el escurrimiento entre otros.

- a. Monitoreo de superficie glaciar. Se puede aplicar diversas técnicas como la delimitación del glaciar mediante estacas en determinados periodos, en la actualidad más se basan a nuevas tecnologías como la fotogrametría y la teledetección multitemporal.
- b. Monitoreo de volumen de glaciar. Se utiliza la técnica topográfica mediante las curvas de nivel para estimar el volumen del glaciar, también se puede hacer sondajes de radar para conocer la altura de la capa de hielo en mayores extensiones de área.
- c. Espesor o profundidad del hielo. Se hace mediante sondajes eléctricos o emisión de ondas de radio, estos datos se procesan en gabinete con programas computarizados para conocer alturas del glaciar en varios puntos de monitoreo.
- d. Estaciones meteorológicas. Son estaciones especializadas para los climas agrestes de cordilleras generalmente con transmisión de datos de forma remota. Miden la precipitación líquida y sólida, parámetros de viento, temperatura, radiación, entre otros.

2.4.3. *Balance de masa de un glaciar*

El balance de masa de un glaciar o BM, es la evaluación de la masa de nieve y hielo ganada en un ciclo anual en la Zona de Acumulación de un glaciar, y su comparación con la masa perdida, también en un ciclo anual, en la Zona de Ablación de un glaciar.

=

Ecuación 12

Donde: MGZA= Masa ganada de zona de acumulación, MPZAb =Masa perdida en zona de ablación y BM=Balanza de masa.

Un glaciar se encuentra en equilibrio cuando el BM es igual a cero a mediano o largo plazo, esto se puede reflejar que el área glaciar no crece ni retrocede. Este balance comprende de tres.

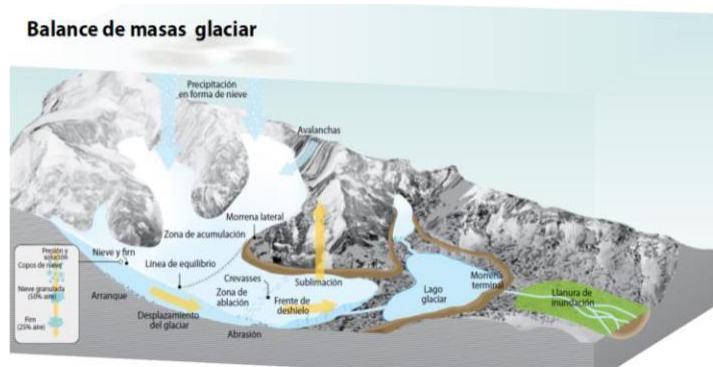
2.4.4. Balance de hielo

Un glaciar se evalúa de diferentes formas, donde el método glaciológico es el más correcto, que es el único que se basa en mediciones del terreno. El balance de hielo de un glaciar se determina, al fin de un ciclo anual, al sumar todas las pérdidas y ganancias de masa de glaciar. El método consiste en medir la pérdida o ganancia de masa en puntos (estacas) en el área del glaciar, escogidos de manera que su ubicación que representen las condiciones en todo el glaciar. Se mide la pérdida o ganancia de cota en el punto, se establece la densidad del material (nieve o hielo) en la superficie del glaciar, y así se logra la diferencia de masa (positiva o negativa) en el punto específico con respecto a una medición anterior. Aplicando las mediciones de cada punto a su área representativa, se obtiene el balance de hielo para todo el glaciar (Edward, J, 2003).

Un segundo método para estimar el balance de hielo de un glaciar es el geodésico, comparando superficies (área y cota) de un glaciar en planos topográficos de años sucesivos, para así evaluar cambios de volumen del glaciar. Este método se emplea normalmente como un control del método glaciológico, porque permite inferir la tendencia general del balance de masas en un glaciar, pero no es suficientemente preciso para evaluar el balance anual (J. Tarbuck, 2006).

Figura 11

Balance de masas glaciares



Nota: El aporte de la masa glaciar es a partir de la precipitación en las cordilleras donde se capturan como cobertura glaciar. Extraído de Schmitt et al., 2014.

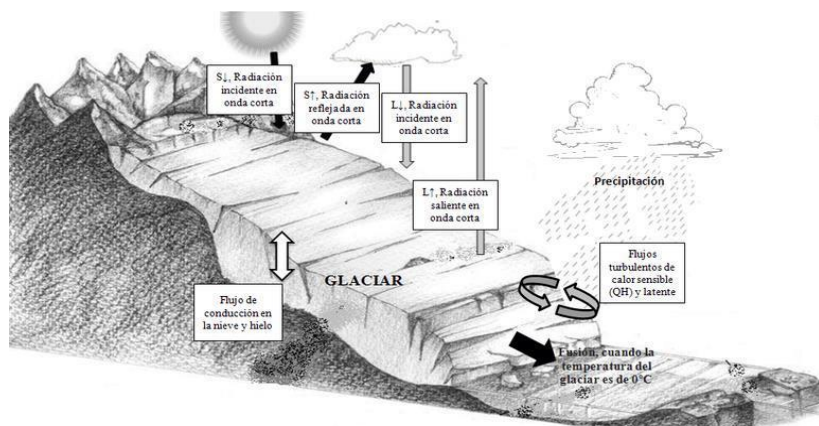
La tercera forma de evaluar es Línea de Equilibrio de un glaciar, donde se menciona que, en un glaciar en equilibrio, las mayores velocidades de movimiento se deben registrar en el límite entre la zona superior de ganancia de masa y la zona inferior de pérdida de masa; este límite es la Línea de Equilibrio. En periodo de un año, la integridad de la masa ganada en la parte superior de un glaciar transita a través de la Línea de Equilibrio para compensar la masa perdida en la parte inferior. Este tránsito se expresa en las velocidades del glaciar en la Línea de Equilibrio, de manera que, conociendo la sección del glaciar en la Línea de Equilibrio y las velocidades en la sección, es posible calcular la masa que transita por ella.

2.4.5. Balance calórico

El balance calórico de un glaciar consiste en determinar el calor aportado a la superficie del glaciar por los diferentes agentes meteorológicos, y transformar este calor en pérdida o ganancia de masa para la superficie del glaciar, considerando el calor específico del hielo en fusión (80 cal/g), en condensación (400 cal/g) o en sublimación (480 cal/g). La utilización de este método se dificulta pues su correcta aplicación requiere contar con complejos sensores climáticos en varios puntos en la superficie de un glaciar.

Figura 12

Balance energético en un glaciar



Nota: Balance energético en un glaciar considerando los flujos entrantes y salientes. Extraído de Sastre-Juan Carlos, 1996.

2.4.6. Dinámica de movimiento de glaciares

El movimiento del hielo glaciar se suele denominar flujo.

El flujo plástico, implica el movimiento dentro del hielo. Se comporta como un sólido quebradizo hasta que la presión que tiene encima es equivalente al peso de unos 50 metros de hielo. Una vez sobrepasada esta carga, el hielo se comporta como un material plástico y empieza a fluir. Este flujo se produce debido a la estructura molecular del hielo.

El deslizamiento basal, este movimiento glaciar consiste en el desplazamiento de toda la masa de hielo a lo largo del terreno. Con la excepción de algunos glaciares localizados en las regiones polares, donde el hielo está probablemente congelado hasta el lecho de roca sólida, se piensa que la mayoría de los glaciares se mueve mediante este proceso denominado deslizamiento basal.

2.5. Meteorología y climatología

- a. Meteorología: Se define como la ciencia encargada del estudio de la atmósfera, incluye sus propiedades y los fenómenos que se rigen en ellos, los llamados meteoros. Para el estudio de la atmosfera se necesita realizar mediciones de sus diferentes variables meteorológicas, como la temperatura, la presión atmosférica o la humedad, las cuales varían tanto en el espacio como en el tiempo.
- b. Climatología: Es la ciencia de la tierra que se encarga del estudio del clima y sus variaciones a lo largo del tiempo, el clima es una condición definida de muchos años en un lugar establecido con previsiones al futuro o largo plazo.
- c. La atmosfera: se denomina a la capa gaseosa que envuelve la Tierra, y que se adhiere por la acción de la gravedad. Es difícil determinar exactamente su espesor, puesto que los gases que la componen se van haciendo menos densos con la altura, hasta prácticamente desaparecer a unos pocos cientos de kilómetros de la superficie. La atmósfera está formada por una mezcla de gases, la mayor parte de los cuales se

concentra en la denominada homosfera, que se extiende desde el suelo hasta los 80-100 kilómetros de altura. De hecho, esta capa contiene el 99,9% de la masa total de la atmósfera.

Tabla 13

Composición de elementos en la atmósfera

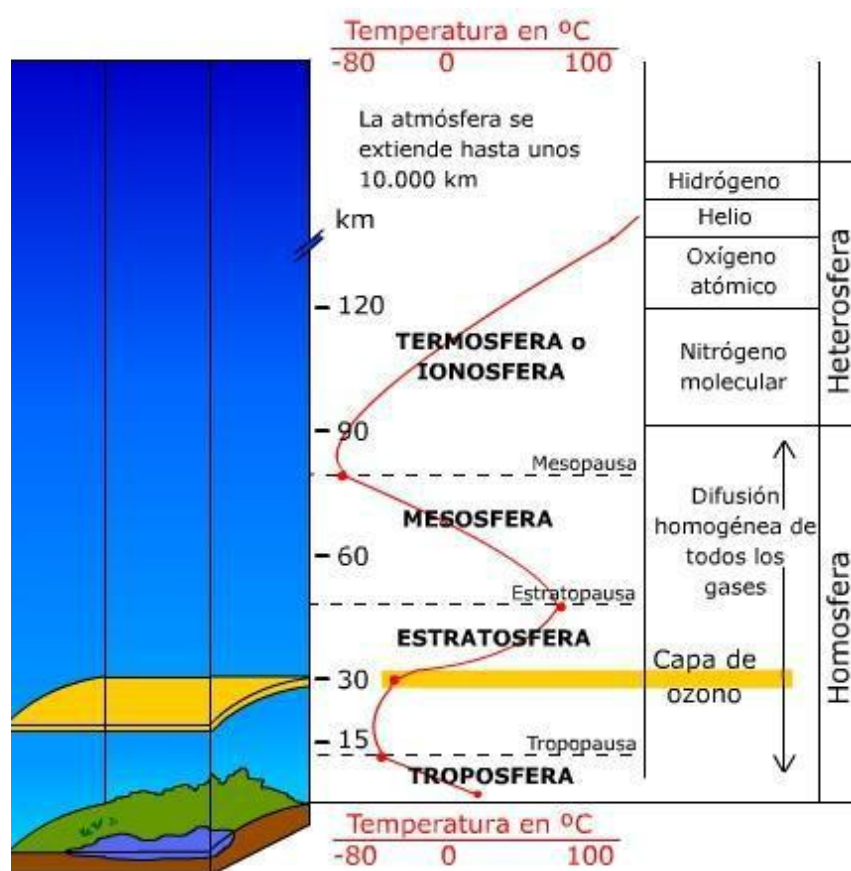
| Componentes | Volumen (%) |
|--------------------|-------------|
| Nitrógeno | 78.08 |
| Oxígeno | 20.95 |
| Argón | 0.93 |
| Dióxido de carbono | 0.03 |
| Vapor de agua | 1.00 |

Nota: *Extraído de USEPA, 1992.*

En la atmósfera la densidad, la composición del aire y la temperatura varía con la altura, la clasificación es la siguiente.

Figura 13

Estructura de la atmósfera terrestre y sus propiedades básicas



Nota: *Extraído de la tierra un lugar para la vida. CONICET, 2015.*

2.5.1. *Variables meteorológicas.*

- a. La Temperatura. Es el parámetro que indica la temperatura del aire es un indicador de calentamiento o enfriamiento que resulta del intercambio de calor entre la atmosfera y la tierra, su registro se da mediante los termómetros.
- b. Los valores numéricos de la temperatura indica el nivel de energía interna que se encuentra en un lugar en ese momento, esto engloba las plantas, animales y otros, su mecanismo de ingreso de energía es mediante la radiación solar.
- c. La presión atmosférica. Es la fuerza ejercida por la masa de aire atmosférico en una unidad de área, a consecuencia de la fuerza de gravedad.
- d. El equipo de medición de la presión es el barómetro, que consiste en una pequeña capsula de metal flexible llamada celda aneroide, esta se encuentra en vacío de modo que los cambios de presión, hace que la capsula aumente o disminuya.
- e. En la tierra existen
- f. El viento. Es el movimiento de aire desde una zona a otra por principios físicos, normalmente se origina cuando entre dos puntos existe una cierta diferencia de presión y de temperatura.
- g. La colecta de medida es en forma directa de velocidad y dirección del viento, los meteorólogos utilizan distintos instrumentos de medida:
- h. El anemómetro de cazoletas un instrumento más utilizado para la medición de la velocidad de flujo horizontal.
- i. La veleta es el instrumento que se encarga de brindar la procedencia geográfica del viento.
- j. Los vientos se clasifican según su el lugar y medio que se producen: Brisas de mar, brisas de montaña y valles, huracanes, tornados y vientos locales.

- k. La radiación solar. Se denomina a la energía transferida por el Sol a la Tierra, es lo que se conoce como energía radiante o radiación. Ésta viaja a través del espacio en forma de ondas que llevan asociada una determinada cantidad de energía.
- l. Los cuerpos emiten radiación en función de su temperatura. La ley de Stefan-Boltzmann establece que la energía emitida por un cuerpo (E) es directamente proporcional a la cuarta potencia de su temperatura $= \sigma T^4$, donde σ es la constante de Stefan-Boltzmann.
- m. La humedad. El agua es un componente principal de la atmósfera, se presenta en sus estados líquido, gaseoso y sólido. La presencia del agua en los tres estados de agregación se rige a sus condiciones físicas (temperatura y presión) necesarios para que se generen estos cambios en estado en la atmósfera.
- n. La humedad es la cantidad de vapor de agua que contiene el aire. Esa cantidad no es constante, sino que está regida a diversos factores, como si ha llovido recientemente, si estamos cerca del mar, si hay plantas, etc.

Hay diversas maneras de referirnos al contenido de humedad en la atmósfera y son:

La humedad absoluta: masa de vapor de agua, en gramos, contenida en 1m³ de aire seco,

humedad específica: masa de vapor de agua, en gramos, contenida en 1 kg de aire, razón

de mezcla: masa de vapor de agua, en gramos, que hay en 1 kg de aire seco.

La humedad relativa: Es la forma más utilizada y se expresa en un tanto por ciento % y se expresa de la siguiente manera.

$$h = \frac{e}{E} * 100$$

Ecuación 13

Donde, e; representa el contenido de vapor de la masa de aire y E; su máxima capacidad de almacenamiento de éste, llamada presión de vapor saturante. Este valor nos indica la cantidad máxima de vapor de agua que puede contener una masa de aire antes de transformarse en agua líquida, que también denominamos punto de saturación.

- a. La precipitación. Se define como precipitación a los productos generados por la condensación del vapor de agua atmosférico que se deposita en la superficie de la Tierra. Ocurre cuando la atmósfera (que es una gran solución gaseosa) se satura con el vapor de agua, y el agua se condensa y cae de la solución (es decir, precipita). El aire se satura a través de dos procesos: por enfriamiento y añadiendo humedad. La precipitación que alcanza la superficie de la tierra puede producirse en muchas formas diferentes, como lluvia, lluvia congelada, llovizna, nieve, aguanieve y granizo.

2.5.2. Monitoreo del tiempo

Se establece de manera permanente estaciones fijas y que guardan un criterio científico en su ubicación para respaldar la representatividad y consistencia de sus datos.

- a. Las estaciones de monitoreo meteorológico

Es un lugar destinado a medir y registrar de forma continua los diferentes valores de las variables meteorológicas, los equipos que se instalan son debidamente calibrados y poseen un mantenimiento adecuado para asegurar su objetivo a lo largo del tiempo. La estación meteorológica consta de una serie de equipos que son: los termómetros, higrómetro, pluviómetro, veleta, anemómetros, sensores de radiación solar entre otros. En la actualidad hay estaciones automatizadas con transmisión en tiempo real los cuales cumplen requisitos para su instalación como condiciones de ubicación, topografía entre otros que las establece la Organización Meteorológica Mundial.

- b. Los satélites meteorológicos.

Es un sistema global del seguimiento climático y del tiempo atmosférico mediante satélites en diferentes orbitas como geoestacionarias o polares, estos satélites pueden captar una cantidad de sucesos aparte de formaciones nubosas como la información

de incendios contaminación, auroras boreales tormentas de arena y polvo, corrientes del océano.

Los principales satélites meteorológicos que tenemos son el NOAA, METEOSAT, RESURS, GOES, etc. Tienen una misión de vigilancia meteorológica mundial.

Su importancia radica en muchos aspectos como el cálculo de y dimensión de huracanes, seguimiento en tiempo real de huracanes, estimaciones de velocidad, área de afección, entre otros.

2.5.3. Mapas meteorológicos y predicción

Son representaciones gráficas con un soporte de datos de múltiples estaciones meteorológicas los cuales tratan de representar variables en una determinada área a diferentes escalas, tienen como finalidad informar en transposición al área geolocalizada. Se puede representar en mapas las isotermas, isohumas, isobaras, mapas de vientos, radiación solar, entre otros.

La ventaja de los mapas meteorológicos es de poder ubicar las gradientes de manera geoespacial y poder interpolar de forma científica los valores donde no una estación de monitoreo. Este es la principal herramienta que utilizan los predictores del tiempo en aeropuertos, agricultura intensiva, transporte terrestre entre otros.

La predicción del tiempo es un aspecto de mucha relevancia en nuestros días. Según esto se toma decisiones cotidianas, como elegir la ropa del día o acarrear con el paraguas. La predicción meteorológica es la base para la preparación de situaciones de alerta por parte de los servicios de protección civil o la celebración de espectáculos multitudinarios al aire libre.

2.5.4. El clima

Esta determinado por sucesos meteorológicos relativamente estables o repetitivos en decenas de años que establecen un ecosistema definido. Entonces podríamos decir que el clima es la síntesis del tiempo. Formalmente, el clima está definido como el conjunto de

estados de tiempo atmosférico que se producen en una determinada región y que otorgan a ésta una particular idiosincrasia.

2.5.5. *Factores climáticos*

Son agentes que intervienen en la modificación y el comportamiento de los elementos del clima y de acuerdo a su intensidad, presencia e interacción generan un clima determinando.

a. Latitud.

Es la distancia de cualquier punto de la tierra hacia la línea ecuatorial, según la inclinación con la que inciden los rayos del sol, la duración entre el día y la noche, su temperatura.

b. Altitud

Se define altitud como la distancia vertical que existe entre un punto de la tierra y el nivel del mar, esta se mide en metros. Es un indicador muy importante ya que es determinante de una zona de vida.

c. Relieve

Hace referencia a las formas naturales que tiene la tierra, estos procesos son activos, pero de una forma muy lenta y están regidos a la geodinámico interna y externa.

Las formas más comunes de relieve son las llanuras, planicies, montañas, valles, llanuras costeras, bahías, etc.

d. Continentalidad

Es un factor fundamental que define el clima ya que la distancia de las grandes masas de agua obstaculiza que llegue aire húmedo hasta estas regiones. Es donde se observa un aumento de la amplitud térmica y descenso de las precipitaciones debido a la lejanía de las masas de agua que suministran la humedad necesaria para las lluvias, además del hecho de que las zonas del interior de los continentes son zonas de alta

presión o anticiclones donde el aire más pesado tiende a bajar, especialmente durante la noche, manteniendo el aire subsidente, bastante frío aunque muy seco, como puede verse en las regiones desérticas del interior de los continentes, que tienen una enorme amplitud térmica entre el día y la noche: en un mismo día se puede pasar desde el punto de congelación hasta los 40° C o más.

e. Corrientes oceánicas

La corriente marina es un movimiento de las aguas en los océanos y, en menor grado, de los mares más extensos. Estas corrientes tienen multitud de causas, principalmente, el movimiento de la tierra (que actúa de manera distinta y hasta opuesta en el fondo del océano y en la superficie), así como el movimiento de traslación de la Tierra, la configuración de las costas y la ubicación relativa de los continentes. En cambio, los vientos constantes o planetarios constituyen prácticamente una causa inexistente, ya que algunas coincidencias entre las corrientes y los vientos planetarios se deben a que comparten una causa común, es decir, los movimientos astronómicos de la Tierra.

f. Vegetación

La vegetación contribuye en el clima de un determinado lugar, las plantas emiten vapor de agua y mantienen el aire húmedo lo cual hace posible que cambie la temperatura del aire. La vegetación hace posible que en determinados lugares la temperatura no descienda de forma abrupta por que conservan calor.

2.5.6. Tipos de clima

Según Köppen definió seis grupos principales de climas, a los que identificó en un desarrollado esquema con letras mayúsculas, que sirven como un sistema de organización geográfica, empezando por el ecuador y terminando en los polos. Su punto de partida consiste en que la vegetación natural constituye un indicador del clima, y algunas de sus categorías se

apoyan en los límites climáticos de ciertas formas de vegetales. Los climas son determinados principalmente por los valores medios anuales y mensuales de la temperatura y de la precipitación. Con estos criterios quedan definidos los seis grandes grupos, reconocidos con las letras A, B, C, D, E y H.

Tabla 14

Tipos de clima según Köppen

| Índice | Descripción |
|--------|---|
| A | Climas tropicales lluviosos. Todos los meses la temperatura media es superior a los 18° C. No existe estación invernal y las lluvias son abundantes. |
| B | Climas secos. La evaporación es superior a la precipitación |
| C | Climas templados lluviosos. El mes más frío tiene una temperatura media comprendida entre 18° C y -3° C, y la media del mes más cálido supera los 10° C |
| D | Climas de invierno frío. La temperatura media del mes más frío es inferior a -3° C y la del mes más cálido está por encima de 10° C. |
| E | Climas polares. No tienen estación cálida y el promedio mensual de las temperaturas es siempre inferior a 10 °C. |
| H | Climas de Alta Montaña. |

Nota: *Extraído de climas según Köppen, (R. Geiger, 1985).*

Teniendo en cuenta la distribución estacional de las precipitaciones, se hace una división de los grupos anteriores en subgrupos más específicos por medio de las letras minúsculas f, s, w y m, que indica si en la región climática existe una estación seca en el verano (s), en el invierno (w) o no existe estación seca (f).

Tabla 15

Clima según la distribución estacional de las precipitaciones

| Índice | Descripción |
|--------|--|
| f | Clima lluvioso todos los años, con ausencia de periodo seco. |
| s | Clima con estación seca en verano |
| w | Clima con estación seca en invierno |
| m | Clima con precipitación de tipo monzónico. |

Nota: *Extraído de climas según Köppen, (R. Geiger, 1985).*

Para describir mejor el régimen térmico, se usa una tercera letra a, b, c, d, h ó k, que indican cuán cálido es el verano o cuán frío es el invierno.

Tabla 16

Clima según la distribución estacional de la temperatura

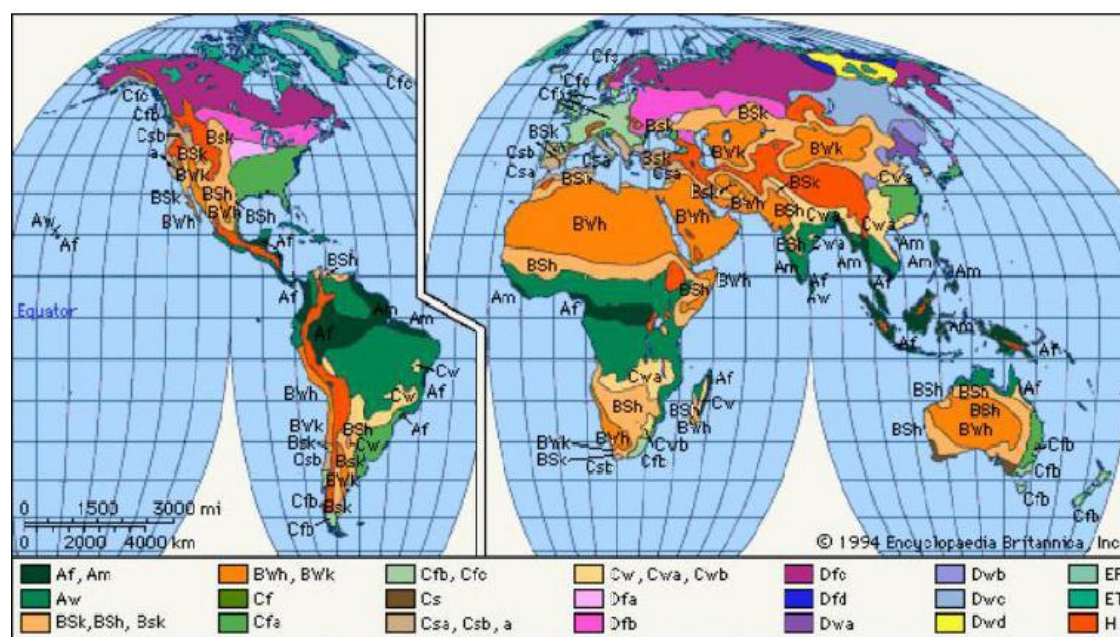
| Índice | Descripción |
|--------|--|
| a | La temperatura media del mes más cálido es superior a 22° C. |
| b | La temperatura media del mes más cálido es inferior a 22° C, pero con temperaturas medias de al menos cuatro meses superiores a 10° C. |
| c | Menos de cuatro meses con temperatura media superior a 10° C. |
| d | El mes más frío está por debajo de -38° C. |
| h | La temperatura media anual es superior a 18° C. |
| k | La temperatura media anual es inferior a 18° C |

Nota: Extraído de climas según Köppen, (R. Geiger, 1985).

La clasificación climática de Köppen, se da en la tabla siguiente, identificando los tipos de climas con la nomenclatura descrita.

Figura 14

Distribución mundial del clima según Köppen



Nota: Extraído de climas según Köppen, (R. Geiger, 1985).

2.5.7. Modelos climáticos del tiempo

Una herramienta que se dispone para el estudio de este complejo sistema son los modelos climáticos. Hay diversos tipos de modelos, desde los más sencillos que permiten comprender el efecto global de diversos forzamientos individuales, hasta los más complejos que son capaces de reproducir aceptablemente los principales procesos que tienen lugar en el sistema y que, a la postre, determinan el clima terrestre (McGuffie and Henderson-Sellers,

2005). Los modelos de este último tipo se basan en la resolución numérica del conjunto de ecuaciones que expresan las leyes y principios físicos que rigen la dinámica tridimensional de los procesos fundamentales que tienen lugar en cada componente del sistema climático, así como los intercambios de energía y masa entre ellos. Por esta razón, a los modelos que pueden simular las interacciones entre los cinco componentes del sistema climático global de forma acoplada se les da el nombre de Modelos del Clima Global con Acoplamiento (en adelante se usarán las siglas MCGC).

Modelos climáticos globales incluidos en el tercer informe del IPCC (2001) y la resolución horizontal (en grados latitud x longitud) y vertical (nº de niveles entre paréntesis) que cada uno usa en los módulos atmosférico y oceánico.

Figura 15

Descripción de los principales modelos numéricos climáticos

| Nombre modelo | Resolución atmosf. | Resolución océano |
|---------------|--------------------|--------------------|
| ARPEGE/OPA2 | 3.9 × 3.9 (L19) | 2.0 × 2.0 (L31) |
| BMRCa | 3.2 × 5.6 (L9) | 3.2 × 5.6 (L12) |
| CCSR/NIES 2 | 5.6 × 5.6 (L20) | 2.8 × 2.8 (L17) |
| CGCM 1,2 | 3.8 × 3.8 (L10) | 1.8 × 1.8 (L29) |
| CSIRO Mk2 | 3.2 × 5.6 (L9) | 3.2 × 5.6 (L21) |
| CSM 1.0, 1.3 | 2.8 × 2.8 (L18) | 2.0 × 2.4 (L45) |
| ECHAM4/OPYC3 | 2.8 × 2.8 (L18) | 2.8 × 2.8 (L11) |
| GFDL R15 a | 4.5 × 7.5 (L9) | 4.5 × 3.7 (L12) |
| GFDL R30 c | 2.25 × 3.75 (L14) | 1.875 × 2.25 (L18) |
| GISS2 | 4.0 × 5.0 (L9) | 4.0 × 5.0 (L13) |
| GOALS | 4.5 × 7.5 (L9) | 4.0 × 5.0 (L20) |
| HadCM2 | 2.5 × 3.75 (L19) | 2.5 × 3.75 (L20) |
| HadCM3 | 2.5 × 3.75 (L19) | 1.25 × 1.25 (L20) |
| IPSL-CM2 | 5.6 × 3.8 (L15) | 2.0 × 2.0 (L31) |
| MRI1 | 4.0 × 5.0 (L15) | 2.0 × 2.5 (L21) |
| MRI2 | 2.8 × 2.8 (L30) | 2.0 × 2.5 (L23) |
| DOE PCM | 2.8 × 2.8 (L18) | 0.67 × 0.67 (L32) |

Nota: Extraído de Organización meteorológica mundial, (OMM, 2013).

2.5.8. El cambio climático

Uno de los aspectos claves del cambio climático actual y futuro se podría resumir en la pregunta: ¿Cuánto han influido las actividades humanas en el calentamiento global observado? Hay tres hechos incontestables:

- La temperatura media global del aire cerca de la superficie terrestre ha aumentado

cerca de 0.8°C desde 1860.

- En los últimos 150 años la concentración media global de CO₂ en la atmósfera se ha incrementado en torno a un 30%, fundamentalmente a causa de actividades humanas.
- El CO₂ es un gas que contribuye al efecto invernadero, el mayor responsable de la ganancia global media de calor por la superficie terrestre, pues casi dobla en magnitud al calentamiento solar directo.

Entonces, para responder a la anterior cuestión, habría que calcular de forma objetiva la relación entre el primer hecho y el segundo. Pero este cálculo no es trivial, pues la extrema complejidad del sistema climático hace que no exista una proporcionalidad predeterminada entre causa y efecto. Es decir, una pequeña perturbación podría inducir un cambio más significativo en el clima terrestre que otra con mayor magnitud. Esto se debe a que cualquier alteración inicial podría eventualmente amplificarse o disiparse según fuera el resultado conjunto de los numerosos y complejos mecanismos de realimentación que surgirían en el sistema climático. Por tanto, cabría la posibilidad de que el calentamiento global observado se debiese en su mayor parte a otros forzamientos naturales de menor magnitud relativa que el asociado con la acumulación de CO₂ en la atmósfera.

2.6. Teledetección

2.6.1. Principios de la teledetección

La teledetección es una técnica para la adquisición de información sin tener contacto directo con el medio evaluado, embargo, de un modo más restringido, y en el ámbito de las ciencias de la Tierra, la Teledetección es entendida como una técnica que tiene por objeto la captura, tratamiento y análisis de imágenes digitales tomadas desde satélites artificiales (Sobrino, 2000).

Además:

Técnica que permite adquirir imágenes de la superficie terrestre por sensores instalados en plataformas espaciales (Estamos que entre la tierra y el sensor existe una interacción de energía, ya sea por reflexión de energía solar, o un haz energético artificial o por propia emisión. (Emilio Chuvieco 1990).

Figura 16

Elementos de un sistema de teledetección satelital



Nota: Extraído de teledetección espacial, (Chuvieco, 2015).

Elementos Básicos de la Teledetección

- a. Fuente de energía: Origen del flujo energético detectado por el sensor. Puede tratarse de un foco exterior al sensor, en cuyo caso se habla de teledetección pasiva, o de un haz energético emitido por éste (teledetección activa, radar). La fuente de energía más importante es la energía solar. (Teledetección pasiva).
- b. Cubierta terrestre: Formada por distintas coberturas que reciben la señal energética y la reflejan o emiten de acuerdo a sus características físicas.

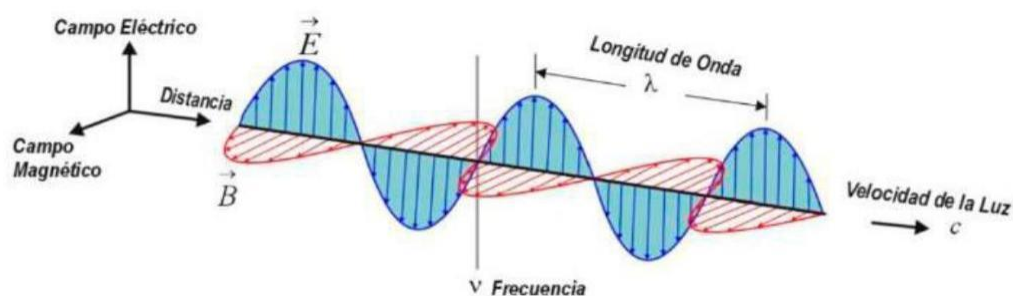
- c. Sistema sensor: Codificar y grabar o enviar al sistema de recepción la energía procedente de la cubierta terrestre.
- d. Sistema de Recepción – Comercialización: Recibir, grabar y corregir la información transmitida, para ser distribuida a los intérpretes.
- e. Interprete: Analiza la información y la convierte para facilitar la evaluación para su estudio.
- f. Usuario final: Analiza el documento fruto de la interpretación, y dictamina sobre las consecuencias que de él se deriven.

2.6.2. El espectro electromagnético

La energía electromagnética según la teoría ondulatoria, se transmite de un lugar a otro a la velocidad de la luz y está constituida por dos componentes o campos de fuerza ortogonales entre sí: el campo eléctrico y el campo magnético.

Figura 17

Representación del espectro electromagnético



Nota: *Extraído de teledetección espacial, (Chuvienco, 1995).*

Las características de este flujo energético pueden ser descritas por dos elementos: la longitud de onda y la frecuencia. La primera se refiere a la distancia entre dos picos o crestas (ciclo) y la segunda al número de ciclos pasando por un punto fijo, por unidad de tiempo.

$$E = h \cdot \nu \quad \text{Ecuación 14}$$

Propiedades de la energía electromagnética, Las concepciones ondulatorias y corpusculares de la radiación electromagnética se concilian en la relación de Plank.

$$E = h \cdot \nu$$

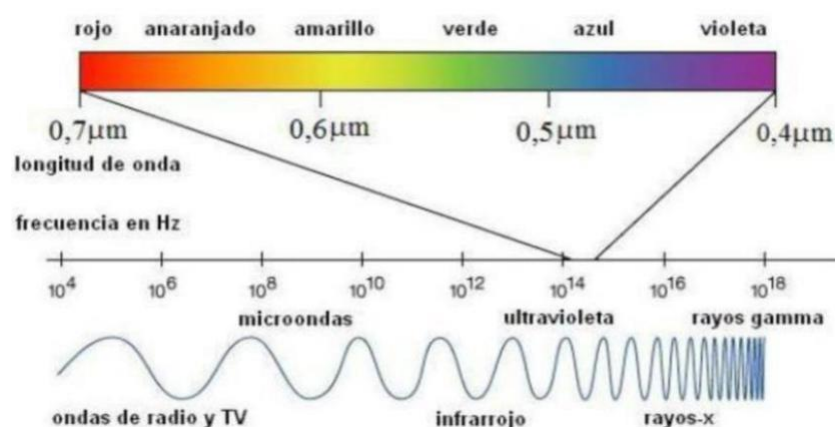
Ecuación 15

La relación de Planck permite que un haz de radiación de determinada frecuencia (o longitud de onda) sea interpretado como un flujo de cuantos de determinada energía.

Se conoce que la región visible del espectro electromagnético representa solo una pequeña fracción de este. Por razones de practicidad se utilizan diferentes unidades de longitud de onda según la región espectral considerada. Por ejemplo, si nos centramos en las regiones conocidas como visible o infrarrojo nos bastara con recurrir a los micrómetros o micras ($1 = 10^4$) o a los nanómetros ($1 = 10^3$). Para las regiones de radar convendrá referirse a centímetros (Tipler y Llewellyn, 2000).

Figura 18

Clasificación de la onda electromagnética



Nota: Extraído de *teledetección espacial*, (Tipler y Llewellyn, 2000).

- a. Espectro visible (0.4 a 0.7 μm). Se denomina así por tratarse de la única radiación electro-magnética que pueden percibir nuestros ojos. Suelen distinguirse tres bandas

- elementadas, que se denominan azul (0.4 a 0.5 μm); verde (0.5 a 0.6 μm), y rojo (0.6 a 0.7 μm), en razón de los colores elementales asociados a esas longitudes de onda.
- b. Infrarrojo próximo (0.7 a 2 μm). A veces denominado infrarrojo reflejado y fotográfico, resulta de especial importancia por su capacidad para discriminar masas vegetales y concentraciones de humedad.
 - c. Infrarrojo medio (2 a 8 μm). En donde se entremezclan los procesos de reflexión de la luz solar y la emisión de la superficie terrestre.
 - d. Infrarrojo lejano o térmico (8 a 16 μm). Que incluye la porción emitiva del espectro terrestre.
 - e. Micro-ondas (a partir de 1nm). Con gran interés por ser un tipo de energía transparente a la cubierta nubosa.

Tabla 17

Clasificación de ondas electromagnéticas según su longitud de onda

| Región | Rango de las Longitudes de Onda |
|---------------------|--|
| Rayos gamma | Menos de 0.01 Å |
| Rayos X | De 0.01 Å a 10.0 Å |
| Rayos ultravioletas | De 10 Å a 1000 Å |
| Luz visible | De 0.4 μm a 0.7 μm |
| Infrarrojo cercano | De 0.7 μm a 2.0 μm |
| Infrarrojo medio | De 2.0 μm a 8.0 μm |
| Infrarrojo térmico | De 10.0 μm a 16.0 μm |
| Microondas | De 3.0 mm a 3.0 m |
| Ondas de radio UHF | De 0.1 m a 1.0 m |
| Ondas de radio VHF | De 1.0 m a 10.0 m |

Nota: *Extraído de Chuvieco, 1996.*

2.6.3. Magnitudes radiométricas básicas

Se presenta los principales conceptos que permiten entender de qué modo puede utilizarse la radiación electromagnética en teledetección para obtener información sobre los sistemas en estudio. Expondremos los aspectos básicos relacionados con el transporte, por parte de las ondas electromagnéticas, de la energía radiante y se introducen las características radiativas de la materia.

- a. Campo radiativo. Es el campo electromagnético transportado por las ondas entre el emisor y el receptor. La energía asociada con la onda electromagnética se denomina energía radiante (Q).
- b. Emisividad (ϵ). Las leyes de Planck, Stefan y Wien nos permiten obtener como sería la radiación de un cuerpo a una temperatura dada si su eficiencia fuera de 100% en realidad este no suele ser el caso, sino que todos los cuerpos tienen una emisividad algo inferior a 1. En función de la emisividad, los cuerpos pueden dividirse en:
- Cuerpo negro o radiador perfecto. El que emite radiación máxima de sus posibilidades ($\epsilon = 1$).
 - Cuerpo gris. Aquel en el que $0 < \epsilon < 1$.
 - Reflector perfecto, $\epsilon = 0$, es decir su emisividad equivale a 0.
 - Radiador selectivo, $\epsilon = f(\lambda)$, es decir la emisividad depende de la longitud de onda que se considere.
- c. Energía radiante Q , total de energía radiada por un cuerpo en todas direcciones, se mide en Julios (J)
- d. Flujo radiante ϕ , es la energía transferida por radiación de una superficie a otra por unidad de tiempo, se mide en $W = J \cdot s^{-1}$.

$$\phi = \frac{Q}{t}$$

Ecuación 16

- e. Intensidad radiante I , es el flujo radiante procedente de una fuente de radiación por unidad de ángulo sólido (Ω) y en una dirección concreta, se mide en;

$$I = \frac{\phi}{\Omega} \quad W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$$

$$I = \frac{\phi}{\Omega}$$

Ecuación 17

- f. Ángulo sólido o ángulo cónico (Ω), es el ángulo tridimensional formado en el vértice de un cono. La unidad del ángulo sólido es el estereorradián (sr) y se define como el

ángulo sólido para el que la superficie es igual a $2r^2$ donde r es el radio de la esfera.

Puesto que el área de una esfera es $4\pi r^2$, en una esfera completa hay 4π .

- g. Emitancia radiante, (M), energía emitida por radiación desde una superficie por unidad de tiempo y de superficie, se mide en W m^{-2} . A veces se habla de la emitancia espectral para hacer referencia a la emitancia en una longitud de onda concreta, en cuyo caso las unidades son $\text{W m}^{-2} \text{m}^{-1} = \text{W m}^{-3}$.
- h. Irradiancia, (E), concepto similar al de la emitancia, pero ahora referido a la energía que llega a un cuerpo a través del espacio procedente de otro (que ha emitido). Tiene las mismas unidades que la emitancia, análogamente puede hablarse también de irradiancia espectral, unidad W m^{-2} .

$$M = \frac{\Phi}{S} \quad \text{Ecuación 18}$$

- i. Radiancia, (L), es el flujo radiante que abandona una unidad de área en una dirección particular siguiendo un ángulo sólido particular. Las unidades en que se miden son $\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1}$. Su importancia estriba en que es la magnitud que detecta el sensor. Cuando la radiación se refiere a una porción concreta del espectro electromagnético se le denomina radiancia espectral (L_λ).

$$L = \frac{I}{S \cos \theta} = \frac{P}{S \cos \theta \Omega} \quad \text{Ecuación 19}$$

Donde θ es el ángulo formado por la dirección del flujo radiante y el vector perpendicular a la superficie receptora de tamaño S .

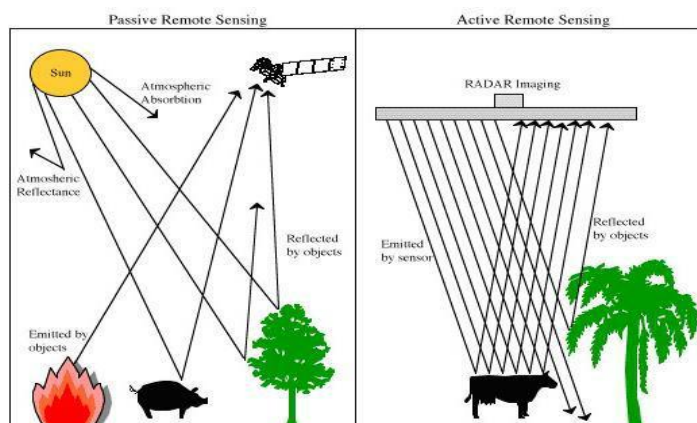
2.6.4. Sistema de adquisición pasiva y activa

Entre las variadas formas de clasificar los sensores remotos, una de las más habituales considera su procedimiento y recibir la energía procedente de distintas cubiertas. En este sentido se habla de dos tipos de sensores:

- a. Sensores Pasivos. Cuando se limitan a recibir la energía proveniente de un foco exterior a ellos.
- b. Sensores Activos. Cuando son capaces de emitir su propio haz de energía, lógicamente son más flexibles, puesto que no dependen tanto de como los primeros de las condiciones exteriores del sistema sensor – Tierra.

Figura 19

Tipos de sensores remotos en satélites de teledetección



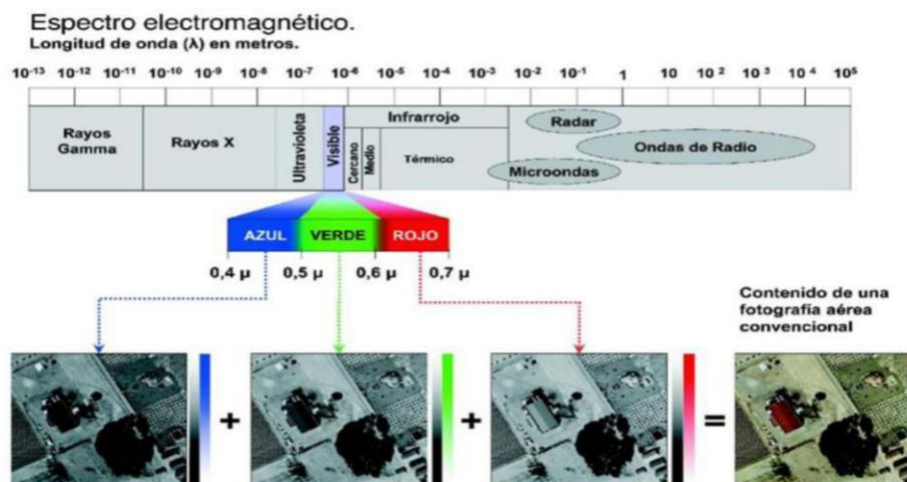
Notas: *Tipos de sensores satelitales, (Chuvieco, 2000).*

2.6.5. Composición a colores de imágenes espectrales

Como es bien sabido, el color que aprecian nuestros ojos es fruto de la reflectancia selectiva de los objetos a distintas longitudes de onda. Aquellas superficies con alta reflectancia en el azul, y baja en el resto, aparecen con ese color, mientras ofrecen un tinte rojo si absorben las longitudes de ondas cortas y reflejan las longitudes de ondas largas. Nuestros ojos solo perciben las longitudes de onda comprendidas entre 0.4 y 0.7 μm , separando la energía recibida en tres componentes de acuerdo a la sensibilidad espectral de nuestras células sensores. Esos tres componentes son los denominados colores primarios: rojo, verde y azul (RGB), a partir de los cuales puede reconstruirse cualquier otro color del arco iris (Chuvieco,1996).

Figura 20 *Composición de imágenes en la RGB*

Composición de imágenes en la RGB



Notas: *La suma de colores formaría el color real. (Chuvieco, 1996).*

Una impresión similar al color que nosotros percibimos puede obtenerse cuando combinamos las bandas espectrales RGB, aplicando a cada una de ellas los tres colores primarios, en ese mismo orden. La mezcla de tres bandas espectrales en una composición en color puede conseguirse de acuerdo a dos procesos, denominados aditivos y sustractivo. En el proceso aditivo, cualquier color se obtiene por suma de los tres colores primarios: azul, verde y rojo. La suma de dos colores primarios permite lograr un color complementario: azul + verde = cian; azul + rojo = magenta, y verde + rojo = amarillo, mientras los tres suman el blanco. Por el contrario, el proceso sustractivo se basa en la absorción de la luz que ejercen los colores complementarios: el cian absorbe la luz roja, el magenta absorbe el verde y el amarillo el azul. Los tres en combinación suponen, por tanto, el negro (Chuvieco, 1996).

Figura 21

Sustracción y adición de colores primarios en el sistema RGB



Nota: *Extraído de técnicas de teledetección, (Chuvienco, 1996).*

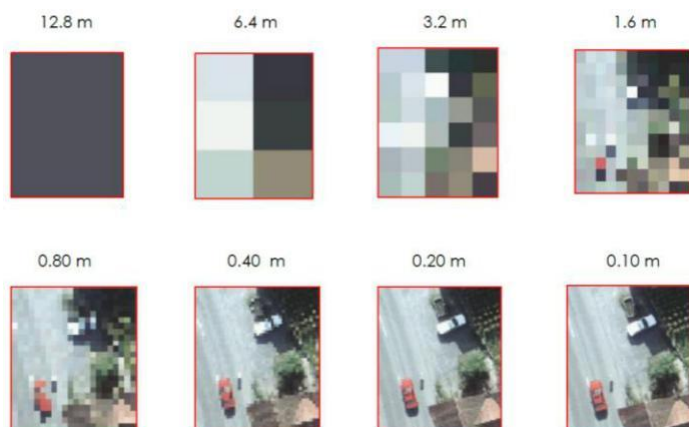
2.6.6. Tipos de resolución de imágenes satelitales

- a. Resolución Espacial. Es la capacidad que presenta el sistema para distinguir objetos en función de su tamaño, la resolución espacial suele definirse como el tamaño del objeto más pequeño que puede ser distinguido en una imagen: tamaño del pixel sobre el terreno. Está basado en el ángulo subtendido en el satélite por el pixel, esta es una sección angular en radianes.

Los sensores ópticos electrónicos el tamaño del pixel depende de varios factores como son la altura orbital, la velocidad de exploración del satélite o el número de detectores montados en el sensor.

La resolución espacial juega un papel fundamental condicionando la escala de trabajo y la fiabilidad de la interpretación. De este modo cuanto menor sea el tamaño del pixel menor será la posibilidad de que este sea un compuesto de dos cubiertas fronterizas. Sin embargo, en algunas ocasiones puede ser bueno contar con un tamaño de pixel más grande ya que con ello se reduce la variabilidad de categorías (Chuvienco,1996).

A menor tamaño del píxel mayor será la resolución espacial, lo que implica que el sensor obtendrá más detalle de los objetos.

Figura 22*Representación de la resolución espacial*

Nota: Extraído de efecto de la resolución espacial, (Jensen, 2004).

- b. Resolución Espectral. Indica el número y el ancho numérico que presenta el sensor, están situadas en diferentes segmentos que le denominan ventanas del espectro electromagnético, que luego se asocia a bandas espectrales de los satélites establecen según los usos.

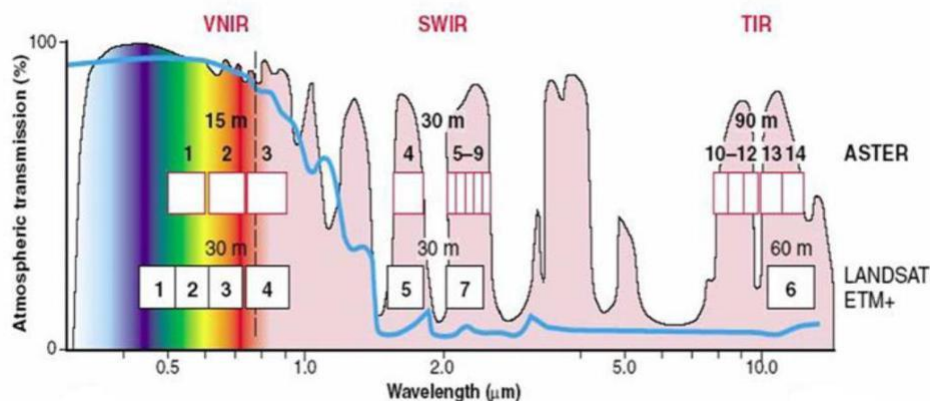
Esta resolución facilita la caracterización espectral de las diferentes cubiertas y entre más estrechas sean estas bandas más coherentes es la información capturada” (Chuvienco,1996).

Se refiere a los intervalos específicos de longitud de onda en el espectro electromagnético que pueden ser registrados por un sensor. Por ejemplo, la banda 1 del sensor TM de Landsat registra energía entre 0.45 y 0.52 μm en la parte visible del espectro.

Amplios intervalos del espectro electromagnético son conocidos como de resolución espectral gruesa, e intervalos reducidos son conocidos como de resolución espectral fina. Por ejemplo, se considera que el sensor pancromático del SPOT tiene una resolución espectral gruesa por registrar radiación electromagnética entre 0.51 y 0.73 μm . Mientras que la banda 3 del sensor TM de Landsat tiene resolución espectral fina, pues registra radiación electromagnética entre 0.63 y 0.69 μm .

Figura 23

Ubicación de las ventanas espectrales de los satélites ASTER y LANDSAT



Nota: Extraído de *Teledetección ambiental*, (J. Salas, 2007).

- c. Resolución Radiométrica. Es la capacidad del sensor para discriminar niveles o intensidades de radiancia. La energía electromagnética recibida por el sensor, cuando se convierte a número digital, necesita un formato binario (número de bits) para codificarse (Chuvienco, 1996).

A mayor número de bits reservados para almacenar el valor de la reflectancia de un pixel, mayor resolución radiométrica.

De este modo el sensor TM del satélite LANDSAT tiene una resolución radiométrica de 8 bits con lo que pueden registrarse valores decimales equivalentes en un rango de 0 a 255, es decir 256 (2⁸). Algunos sensores llegan a ofrecer hasta 10 o 12 bits.

Figura 24

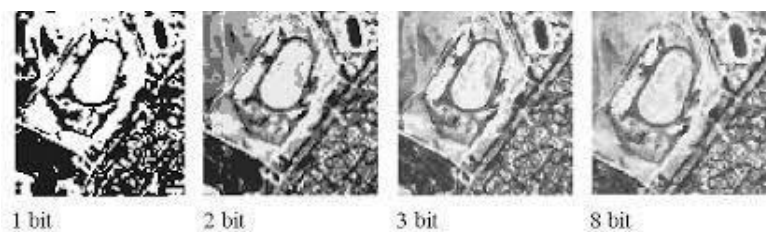
Niveles de grises según el número de bits de la imagen

| bits | Niveles de gris | rango |
|------|-----------------|--------|
| 1 | 2 | 0-1 |
| 2 | 4 | 0-3 |
| 3 | 8 | 0-7 |
| 4 | 16 | 0-15 |
| 5 | 32 | 0-31 |
| 6 | 64 | 0-63 |
| 7 | 128 | 0-127 |
| 8 | 256 | 0-255 |
| 9 | 512 | 0-511 |
| 10 | 1024 | 0-1023 |

Nota: Extraído de *Teledetección ambiental*, (Chuvienco, 2006).

Figura 25

Los niveles de grises de una imagen en función a bit



Nota: *Extraído de Teledetección ambiental, (Chuvienco, 2006).*

La resolución radiométrica en imágenes digitales es comparable al número de tonos de gris en una fotografía en blanco y negro, ya que ambos se relacionan con el contraste. El ojo humano solo es capaz de percibir aproximadamente 30 tonos de gris diferentes, lo que implica que normalmente la información visual en las imágenes digitales es menor a la que realmente contienen.

La dispersión y absorción que provoca la atmósfera en la radiación que alcanza el sensor reducen el número de ND en las imágenes, especialmente en las longitudes de onda más cortas. A efectos visuales esto se traduciría en una pérdida de contraste. Existen procedimientos que permiten obtener medidas de reflectancia relativas a los objetos de la superficie eliminando o reduciendo el efecto de la atmósfera.

- d. Resolución Temporal. La resolución temporal indica el tiempo del paso del satélite sobre la vertical de un punto. Con ello se determina la periodicidad de adquisición de imágenes de una misma zona, por ejemplo, el Landsat 7 puede ver la misma área de la superficie terrestre cada 16 días (Chuvienco, 1996), Mientras que SPOT lo hace cada tres días.

La resolución temporal está condicionada por el tipo de órbita, el ángulo de barrido y la velocidad del satélite.

La resolución temporal de un sensor depende principalmente de tres factores:

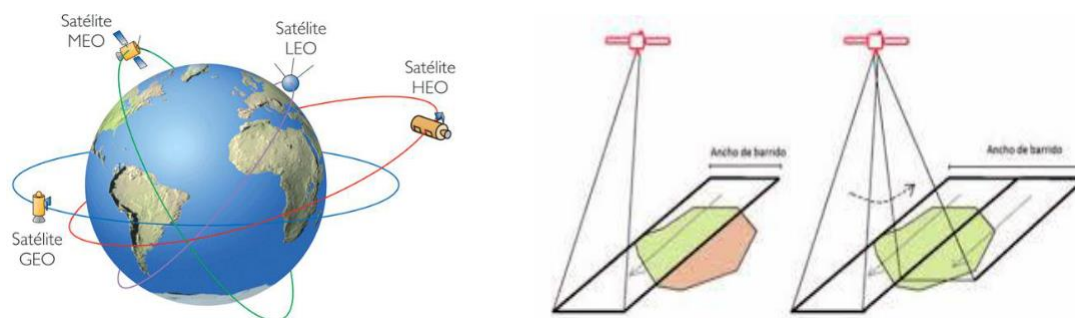
capacidad de reorientación del sensor a ambos lados de la línea de paso del satélite,

del ancho de barrido y de la latitud, ya que, en el caso de órbitas cuasi polares, a mayor latitud, menor periodo de revisita.

La posibilidad de captar imágenes de una misma zona de la superficie terrestre en diferentes periodos de tiempo o épocas del año, es una de las características más importantes de los satélites de teledetección. Las características espectrales de una superficie terrestre pueden cambiar a lo largo del tiempo. Estos cambios pueden ser detectados con la adquisición y comparación de imágenes multitemporales.

Figura 26

Tipos de orbitas de los satélites de teledetección

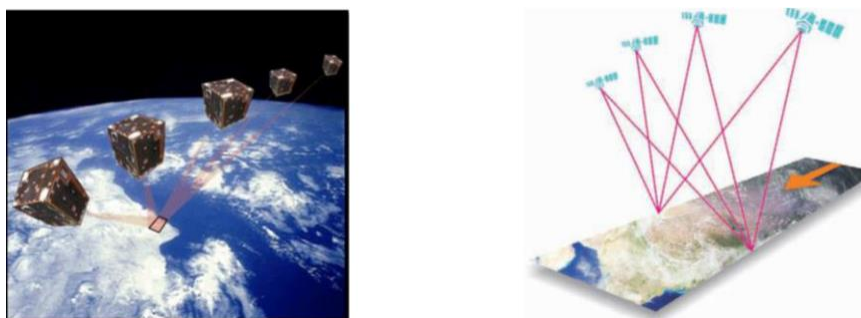


Nota: *Extraído de Teledetección ambiental, (Chuvienco, 2006).*

- e. Resolución Angular. Indica el tiempo del paso del satélite sobre la vertical de un punto. Con ello se determina la periodicidad de adquisición de imágenes de una misma zona, por ejemplo, el Landsat 7 puede ver la misma área de la superficie terrestre cada 16 días (Chuvienco, 1996). Mientras que SPOT lo hace cada tres días.

Figura 27

Esquematización de la resolución radiométrica



Nota: *Satélites de teledetección para la gestión de territorial, (Labrador, 2012).*

En un análisis conjunto de las diferentes resoluciones de los satélites llegaríamos a la conclusión de que un satélite no es mejor ni peor que otro debido a su resolución (Chuvieco,1996). Cada misión espacial ha concebido unos sensores adaptados a unos determinados usos y eso es lo importante.

2.6.7. *Combinación de bandas de satélite Landsat*

Las imágenes satelitales permiten analizar elementos específicos de la superficie terrestre en función a su espectro de emisión. Las distintas bandas multispectrales de acción específica de los satélites facilitan a interpretar aspectos como la vegetación, los usos del suelo o las masas de agua y hielo, entre otros.

Al conocerlos datos de estas bandas sabremos como combinarlas para un mejor resultado de un estudio específico, el Consejo Superior de Investigaciones Científicas de España nos brinda una librería de firmas espectrales para profundizar en su conocimiento del espectro electromagnético.

Figura 28

Combinaciones de bandas RGB adoptando falso color



Nota: *Extraído teledetección espacial. (USGS, 2016).*

Las principales combinaciones que se hace en el Landsat son las siguientes, combinaciones de bandas más comunes aplicados para Landsat 8, se muestra como rojo, verde, azul (RGB).

Tabla 18*Combinaciones de bandas para imágenes Landsat 8*

| Especificación | Combinación |
|----------------------------------|--------------------|
| Color natural | 4 3 2 |
| Falso color (urbano) | 7 6 4 |
| Color infrarrojo (vegetación) | 5 4 3 |
| Agricultura | 6 5 2 |
| Penetración atmosférica | 7 6 5 |
| Vegetación saludable | 5 6 2 |
| Tierra/agua | 5 6 4 |
| Natural con remoción atmosférica | 7 5 3 |
| Infrarrojo de onda corta | 7 5 4 |
| Análisis de vegetación | 6 5 4 |
| Color natural | 4 3 2 |

*Nota: Extraído de USGS-Landsat 8, 2015.***Tabla 19***Ancho de ventanas en las bandas de Landsat 7 y 8*

| LandSat 7 | | | LandSat 8 | | |
|------------------|-------------------|-----------------------|------------------|-------------------|-----------------------|
| Banda | Ancho (µm) | Resolución (m) | Banda | Ancho (µm) | Resolución (m) |
| | | | Band 1 Coastal | 0.43 – 0.45 | 30 |
| Band 1 Blue | 0.45 – 0.52 | 30 | Band 2 Blue | 0.45 – 0.51 | 30 |
| Band 2 Green | 0.52 – 0.60 | 30 | Band 3 Green | 0.53 – 0.59 | 30 |
| Band 3 Red | 0.63 – 0.69 | 30 | Band 4 Red | 0.64 – 0.67 | 30 |
| Band 4 NIR | 0.77 – 0.90 | 30 | Band 5 NIR | 0.85 – 0.88 | 30 |
| Band 5 SWIR1 | 1.55 – 1.75 | 30 | Band 6 SWIR1 | 1.57 – 1.65 | 30 |
| Band 7 SWIR2 | 2.09 – 2.35 | 30 | Band 7 SWIR2 | 2.11 – 2.29 | 30 |
| Band 8 Pan | 0.52 – 0.90 | 30 | Band 8 Pan | 0.50 – 0.68 | 15 |
| | | | Band 9 Cirrus | 1.36 – 1.38 | 30 |
| Band 6 TIR | 10.40 – 12.50 | 30 | Band 10 TIRS1 | 10.6 – 11.19 | 100 |
| | | | Band 11 TIRS2 | 11.5 – 12.51 | 100 |

*Nota: Extraído EarthExplorer del Servicio Geológico de EEUU, 2015.***2.6.8. Correcciones de imágenes satelitales**

Todas las imágenes adquiridas presentan una serie de alteraciones radiométricas y geométricas por que el satélite está sometida a una serie de interferencias que hacen que la información que quiere obtenerse aparezca perturbada por una serie de errores.

- Fallos en los sensores generan información de pixeles incorrectos.
- Alteraciones en el movimiento del satélite en diferentes ejes de estabilización, esto genera distorsiones en la imagen global.
- La interferencia de la atmosfera, genera una sistemática alteración de los pixeles.

- a. Correcciones radiométricas. La corrección radiométrica implica por una parte la restauración de líneas o píxeles perdidos y por otra la corrección del bandeo de la imagen, se pueden dar por:

Píxeles o Líneas Perdidas, se da cuando se ha perdido el valor de algún píxel la solución más simple sería estimarlo como la media de los valores del mismo píxel en las líneas anterior y posterior (no es recomendable utilizar los píxeles contiguos de la misma línea por que han sido captados por el mismo detector que ha dado el fallo, por tanto, son poco fiables), donde round indica el redondeo del número entero más cercano.

$$ND_{i,j} = \text{round}\left(\frac{ND_{i-1,j} + ND_{i+1,j}}{2}\right) \quad \text{Ecuación 20}$$

Bandeado, se debe a una mala calibración entre detectores y resulta especialmente visible en las zonas de baja radiancia como en zonas marinas. El resultado es la aparición periódica de una banda más clara u oscura que las demás.

- b. Correcciones Geométricas. El proceso de georreferenciación consiste en dar a cada píxel su localización en un sistema de coordenadas estándar (UTM, Lambert, coordenadas geográficas) para poder, de este modo, combinar la imagen de satélite con otro tipo de capas en un entorno SIG. Tras la georreferenciación se obtiene una nueva capa en la que cada columna corresponde con un valor de longitud y cada fila con un valor de latitud.
- c. La corrección orbital, modeliza las fuentes de error y su influencia. Para ello es necesario conocer con precisión tanto las características de la órbita del satélite como las del sensor. El segundo es un enfoque empírico que modeliza la distribución de errores en la imagen utilizando puntos de control.

El trasvase de valores de la capa original a la transformada puede abordarse por tres métodos dependiendo de la complejidad de la transformación realizada y del tipo de datos, se puede utilizar estas técnicas, según sea necesaria.

- Método del vecino más próximo. Sitúa en cada pixel de la imagen corregida el valor del pixel más cercano en la imagen original. Esta es la solución más rápida y la que supone menor transformación de los valores originales. Su principal inconveniente radica en la distorsión que introduce en rasgos lineales de la imagen. Es la más adecuada en caso de variables cualitativas, pero evidentemente, no en teledetección.
- Interpolación bilineal. supone promediar los valores de los cuatro pixels más cercanos en la capa original. Este promedio se pondera según la distancia del pixel original al corregido, de este modo tienen una mayor influencia aquellos pixels más cercanos en la capa inicial. Reduce el efecto de distorsión en rasgos lineales, pero difumina los contrastes espaciales.
- Convolución cúbica, se considera los valores de los 16 pixels más próximos. El efecto visual es más correcto en caso de que se trabaje con imágenes de satélite o fotografías digitalizadas, sin embargo, supone un volumen de cálculo mucho mayor.

2.6.9. Firmas espectrales

Las firmas espectrales hacen referencia al perfil específico de radiancia emitida por los objetos situados en la superficie de la tierra, están en función del tipo de objeto, temperatura, textura entre otros factores de lo estudiado.

Para el reconocimiento de elementos por medio de firmas espectrales podemos recurrir a diversas librerías de apoyo que nos permitan visualizar los niveles de radiación de los objetos que deseamos analizar en nuestras imágenes. Minerales, tipos de vegetación,

masas de agua o usos del suelo están identificados a través de su comportamiento de emisión dentro del espectro electromagnético.

El análisis e interpretación de las imágenes de satélite exige conocimientos interdisciplinarios. Una sólida base de física y en especial de radiometría es necesaria para poder entender las imágenes de teledetección.

Todos los elementos geográficos (bosques, cultivos, ríos, lagos, edificios, etc.) transforman de forma diferenciada la radiación electromagnética que reciben del Sol.

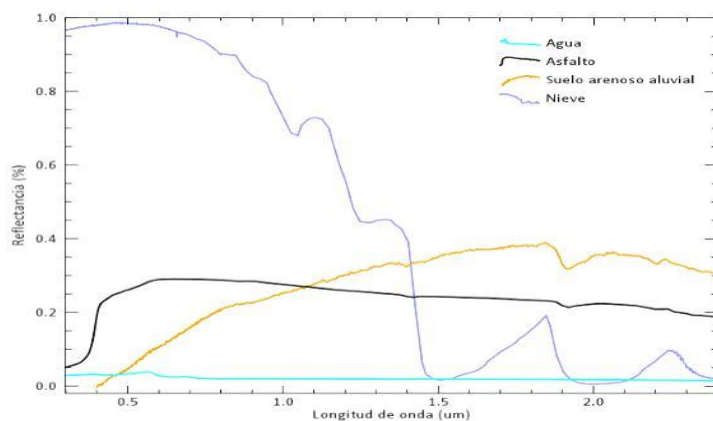
Cada tipo de objeto presenta a un nivel de respuesta específico en términos de: % radiación reflejada + % absorbida + % transmitida, La variación de la reflectancia en función de la longitud de onda se la denomina firma o signatura espectral.

La firma espectral es la medida cuantitativa de las propiedades espectrales de un objeto en una o varias bandas espectrales. También se la conoce como comportamiento espectral, concepto que incluye la variabilidad temporal de las firmas espectrales, así como su variación en función de las condiciones meteorológicas, de las estaciones del año, y de las condiciones de iluminación.

Gracias a estos datos es posible identificar en una imagen de teledetección la naturaleza de un objeto.

Figura 29

Principales gráficos de las firmas espectrales



Nota: Adaptado de Andino, 2009.

2.6.10. Clasificación de imágenes satelitales

El propósito de los procedimientos de clasificación de imágenes de satélite es categorizar automáticamente todos los píxeles en una o diversas clases temáticas. Esta información categorizada se utiliza posteriormente para generar mapas temáticos. En este caso, el patrón espectral presente dentro de la información de cada píxel se usa como una base numérica para la categorización; es por ello que diferentes tipos de objetos presentan diferentes combinaciones de ND (números digitales) basados en su inherente reflectancia espectral y propiedades de emisividad. Existen diferentes tipos de patrones que permiten la categorización de los píxeles de una imagen, como ser patrones espectrales, temporales y espaciales.

Figura 30:

Clasificación supervisada de imágenes multitemporales



Nota: *Extraído de IDRISI Kilimanjaro, 2004.*

- a. Clasificaciones no supervisadas. Es un clasificador que usa algoritmos para agregar píxeles en grupos naturales o clúster con características espectrales similares presentes en la imagen. En este tipo de proceso, el analista no interviene en el proceso de clasificación y no existen áreas de entrenamiento. Aunque los resultados son poco exactos, es un paso obligado porque sirve para que el intérprete pueda asociar tipos de coberturas a los clústeres generados con información auxiliar.

Al realizar este proceso hay que comprobar una a una cada correspondencia entre la clase espectral y la clase temática. Si existe la opción de introducir un número de clases, habrá que determinar el máximo de clases en función de las clases temáticas previstas y añadir otras situaciones circunstanciales como puede ser la presencia de nubes, nieve, zonas de sombra, etc.

b. **Clasificaciones supervisadas.** En el caso de las clasificaciones supervisadas, se requiere del conocimiento de la zona de estudio, adquirido por experiencia previa o por la realización de un trabajo de campo. Es decir, que el intérprete debe tener una gran familiaridad con el área de interés, para poder interpretar y delimitar sobre la imagen, áreas suficientemente representativas, denominadas áreas o regiones de interés (ROI por sus siglas en inglés), de cada una de las categorías representadas y que forman parte de la leyenda. Los pasos básicos para realizar una clasificación supervisada son los siguientes:

- Etapa de entrenamiento: en esta etapa el intérprete identifica áreas de entrenamiento representativas, y genera una descripción numérica de los atributos espectrales de cada categoría de cobertura de la tierra por escena.
- Etapa de clasificación: Cada píxel es categorizado y asociado a una determinada categoría de la leyenda de acuerdo a su mayor semejanza. En el caso que el píxel sea insuficientemente similar, este se catalogará como “desconocido”.
- Etapa de análisis de precisión y verificación de resultados: La estimación de la exactitud de una clasificación es el grado de concordancia entre las clases asignadas por el clasificador y los datos tomados en el terreno obteniendo una estimación más realista de los errores siempre y cuando la muestra de píxeles sea lo suficientemente.

2.7. Sistemas de información geográfica

El SIG es un conjunto de medios y métodos informáticos que proporcionan, de forma modular o integrada, herramientas para la introducción, almacenamiento, edición, gestión, análisis y representación gráfica de datos que se caracterizan por la existencia de un componente espacial, por tanto, se trata de datos georreferenciados.

Un SIG es un conjunto de procedimientos manuales o computarizados usado para almacenar y tratar datos referenciados geográficamente, Aronoff (1989).

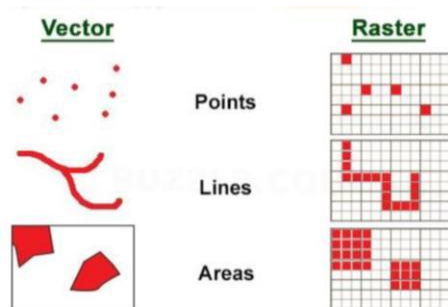
Un SIG es un conjunto de herramientas para obtener, almacenar, recuperar y desplegar datos espaciales del mundo real para satisfacer un propósito o conjunto específico de objetivos, Burrough (1986).

2.7.1. Representación de datos.

En función de la forma de representar el espacio de la que hacen uso podemos clasificar los SIG en dos grandes modelos o formatos:

Figura 31

Representación de tipos de datos: Ráster y Vector



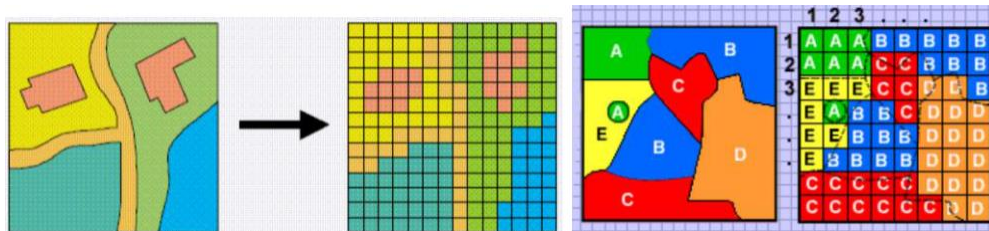
Nota: Extraído de *Sistemas de información geográfica*. (F. Alonso, 2015).

- a. Ráster. Un ráster consta de una matriz de celdas (o píxeles) organizadas en filas y columnas (o una cuadrícula) en la que cada celda contiene un valor que representa información.

Los rásteres son fotografías aéreas digitales, imágenes de satélite, imágenes digitales o incluso mapas escaneados.

Figura 32

Estructura de los datos representados en ráster

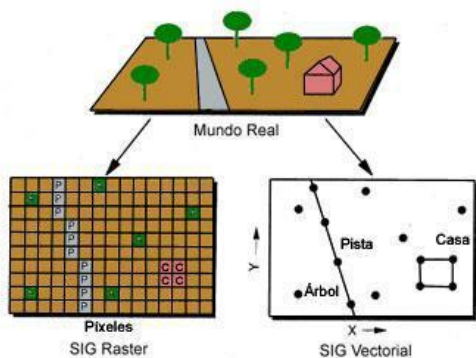


Nota: *Extraído de Thinking about GIS. (Tomlinson R., 2003).*

- b. Vector. Son elementos que existen en la naturaleza pueden ser representados mediante formas geométricas (puntos, líneas o polígonos).

Figura 33

Representación del medio geográfico en ráster y vector



Nota: *Extraído de Thinking about GIS. (Tomlinson R., 2003).*

2.7.2. Ventajas y desventajas del manejo de datos.

Tabla 20

Ventajas y desventajas del manejo de datos

| Modelo | Ventajas | Desventajas |
|--------|--|--|
| RASTER | Estructura de datos sencilla La operación de superposición (overlay) se realiza de forma fácil. Representa mejor elevada variabilidad espacial Es necesario para el manejo y modificación de imágenes digitales y satélites. Proporciona una estructura de datos compacta, ocupa menos memoria. | Ocupan más memoria. Relaciones topológicas son más difíciles de representar El mapa resulta menos “estético”, los límites resultan más groseros. Este fenómeno puede superarse reduciendo el tamaño del pixel, pero incrementa en gran medida el volumen del archivo. |
| VECTOR | Codifica de manera más eficaz las relaciones topológicas entre elementos. Mejor para análisis de redes (network). Está diseñado para trabajar con gráficos, coberturas de Autocad. | Tiene una estructura de datos más compleja que el raster. Operaciones de superposición son más difíciles de obtener. La representación de mapas con elevada variabilidad es ineficiente Manejo y mejora de imágenes digitales y satélites no pueden realizarse de una manera eficaz en el modelo vectorial. |

Nota: *Guidelines for Best Practice in User Interface for (GIS HUXHOLD, 1995).*

2.7.3. Sistema de coordenadas geográficas y la proyección UTM

Las coordenadas geográficas es un sistema de referencia que nos permite ubicar a un punto en la tierra de forma específica y única. Los cuales están fundados en la:

- a. La latitud: Se define como el ángulo entre el plano ecuatorial y la línea que pasa por este punto y el centro de la Tierra. Todos los puntos con la misma latitud forman un plano paralelo al plano del ecuador. El ecuador es el paralelo 0° y divide el globo en Norte y Sur; así el polo norte es 90° N y el polo sur es 90° S.
- b. La Longitud: Se define como el ángulo entre el meridiano de referencia y el meridiano que pasa por este punto. El meridiano de referencia principalmente aceptado es el meridiano que pasa por el Real Observatorio de Greenwich, situado al sureste de Londres, Inglaterra. Este meridiano determina los hemisferios este y oeste. La proyección UTM se define como un sistema de coordenadas basado en la proyección cartográfica transversa de Mercator, que se funda por la proyección de Mercator normal, pero en vez de hacerla tangente al Ecuador, se la hace secante a un meridiano.

Las dimensiones en el sistema UTM se enuncian en metros únicamente al nivel del mar, que es la base de la proyección del elipsoide de referencia.

- c. Husos UTM. La Tierra está compuesto de 60 husos de 6° de longitud, la zona de proyección de la UTM se define entre los paralelos 80° S y 84° N. Cada huso se numera con un número entre el 1 y el 60, estando el primer huso limitado entre las longitudes 180° y 174° W y centrado en el meridiano 177° W.
- d. Bandas UTM. Se divide la Tierra en 20 bandas de 8° de Latitud, que se denominan con letras desde la C hasta la X excluyendo las letras "I" y "O", por su parecido con los números uno (1) y cero (0), respectivamente.

2.7.4. Superposición de mapas

Es un análisis generalmente que se realiza en modelos ráster, que tienen como base la operación numérica mediante algoritmos los valores que tienen ellos, estos son ponderados y nos dará una nueva capa en función a las usadas en el proceso.

La superposición de capas nos ayuda a conocer áreas de importancia en un estudio en función a sus variables.

2.7.5. Cartografía automatizada

Es la cartografía que hace uso de herramientas y conocimiento interdisciplinario como la teledetección y los softwares SIG.

La información es tratada mediante una base de datos y las consultas mediante un lenguaje de programación, en la actualidad la cartografía se da en servidores de internet en tiempo real. Su ventaja es la amplia información de capas que posee, que puede el usuario interactuar haciendo más específica el producto final que desea.

2.7.6. Software SIG

Son herramientas de los SIG que mediante aplicaciones computarizadas nos da apertura al tratamiento virtual del espacio. Como todo sistema sus procesos están en función a los datos que se ingrese y los outputs son generalmente información que tienen gran cantidad de datos que en la actualidad son procesados en cortos tiempos. Los usos de estos softwares son amplios como en el planeamiento urbano, análisis hídrico, análisis territorial, uso de suelos, rutas específicas, entre otros.

Las limitaciones de los softwares SIG son cada vez menores porque la mayoría de aplicaciones tienen como gestor de información a software de programación que hacen posible la integración de nuevas funciones generadas por el usuario.

2.7.7. *Aplicaciones del SIG*

En la actualidad disponemos de muchos softwares en el mercado donde son libres y de pago, la mayoría están orientados a los diferentes usos que se les asigna. Los principales softwares son:

- a. ArcGis. Es un software bajo el nombre genérico ArcGIS se agrupan varias aplicaciones para la captura, edición, análisis, tratamiento, diseño, publicación e impresión de información geográfica. ArcGIS Desktop es un conjunto de aplicaciones SIG de escritorio, es una de las más ampliamente utilizadas, incluyendo en sus últimas ediciones las herramientas ArcReader, ArcMap, ArcCatalog, ArcToolbox, ArcScene y ArcGlobe.
- b. ENVI. Es un programa que sus siglas significan Exelis Visual Information Solutions (Exelis VIS), es una empresa subsidiaria de propiedad total de ITT Exelis, proporciona softwares para el análisis y visualización de datos científicos e imágenes satelitales que se utilizan en una variedad de industrias, incluyendo sensores remotos, la geografía, la ingeniería, la geología, la industria aeroespacial, de defensa y de inteligencia, y proyección de imágenes en medicina. ENVI® (Ambiente para Visualizar Imágenes) es el software ideal para la visualización, análisis, y presentación de todos los tipos de imágenes digitales. El programa de proceso de imágenes completo del ENVI incluye herramientas avanzadas fáciles de usar, así como para análisis espectral, corrección geométrica, análisis de terreno, análisis de radar, y capacidades de SIG vectorial, apoyo amplio para acceder a imágenes de una amplia variedad de fuentes.

2.8. Modelos numéricos

Se define un modelo científico o numérico como una representación teórica de un fenómeno natural, expresado en forma matemática y permite una mejor comprensión y estudio de su comportamiento.

Generalmente en casos de la atmósfera y océano, el comportamiento está regido por las ecuaciones asociadas a la dinámica de fluidos y otros procesos físicos como la interacción entre la materia y radiación, la microfísica de nubes, etc. En general, estas ecuaciones se enuncian como ecuaciones diferenciales parciales, las cuales describen la evolución futura de las diferentes variables relevantes en función de los valores de las distintas variables en el presente. El modelo matemático radica en estas ecuaciones junto con los valores de parámetros y condiciones de frontera (por ejemplo, las características topográficas de la Tierra, la cantidad de energía emitida por el Sol, etc.).

Si conociéramos el estado de la atmósfera y/o océano en un momento dado, podríamos en principio resolver las ecuaciones del modelo matemático para determinar los estados futuros de estos (salvo por limitaciones en predictibilidad). En la práctica, sin embargo, las ecuaciones son tan complejas que esto es imposible hacerlo en forma "analítica" por lo cual es necesario resolver las ecuaciones en forma aproximada usando métodos numéricos usando computadoras. Los programas computacionales que resuelven estas ecuaciones aproximadas son comúnmente conocidos como "modelos numéricos".

2.8.1. *Modelo numérico.*

Es una técnica que se funda en el cálculo numérico, se usa en muchos campos de estudio como las ciencias y la ingeniería.

Si el cálculo de las ecuaciones que representan el modelo propuesto es capaz de ajustar las observaciones, entonces se habla de un modelo consistente con las mismas, y se dice también que el modelo numérico que revalida las hipótesis (el modelo); si el cálculo no

permite en ningún caso reproducir las observaciones, se habla de un modelo inconsistente con los datos y que refuta el modelo conceptual. A menudo, este término se utiliza como sinónimo de simulación numérica.

2.8.2. *Parametrizaciones físicas*

Como vimos anteriormente, la capacidad computacional impone un límite sobre la resolución espacial que se puede emplear. Los modelos globales de la atmósfera y el océano emplean típicamente un Δx de cientos de kilómetros. Por otro lado, existen procesos físicos que tienen escalas espaciales bastante más pequeñas que, sin embargo, tienen un efecto sobre la circulación a escala grande.

Este es el caso, por ejemplo, de la microfísica de nubes, la cual se encarga de los procesos responsables de la formación de las gotitas de agua y cristales de hielo en las nubes. Debido a que las nubes tienen un efecto importante sobre el clima (considere la diferencia entre un día nublado y uno soleado), estos procesos se deben representar de alguna manera en el modelo de baja resolución. La manera como esto se hace es evidentemente de forma aproximada y los algoritmos encargados de esto se denominan "parametrizaciones".

Los esquemas de parametrización más comunes en los modelos atmosféricos son:

- Microfísica de nubes
- Convección húmeda profunda (o sea, tormentas intensas)
- Capa límite planetaria (turbulencia cerca de la superficie)
- Transferencia radiativa (la interacción entre la radiación y los gases atmosféricos y nubes)
- Procesos de superficie (por ej. efectos de vegetación, ríos, etc.)
- El caso de los modelos oceánicos es similar. Esquemas de parametrización comunes son:
 - Convección profunda

- Mezcla turbulenta vertical
- Mezcla debido a remolinos de mesoescala
- Transferencia radiativa

Debido a que las parametrizaciones son aproximaciones, son un punto débil de los modelos. Por ejemplo, una de las principales fuentes de incertidumbre en las proyecciones de cambio climático futuro global es el comportamiento de las nubes. La incertidumbre puede hallarse tanto en los valores de parámetros usados en estos esquemas, como en qué tan buen modelo de la realidad es el esquema mismo.

2.8.3. Modelos regionales

Una forma de aumentar la resolución de un modelo sin que las exigencias computacionales aumenten significativamente es limitar la solución a una región restringida (conocida como "dominio"), por ejemplo, sólo para el Perú. Al ser una región reducida, el número de cálculos se puede mantener reducido también.

Como en el ejemplo de la conducción de calor en una barra de metal, el modelo regional requiere especificar las condiciones en las fronteras del dominio (en el ejemplo, alrededor del Perú). Lo más común es especificar en las fronteras los valores de las diferentes variables del modelo usando resultados de un modelo global (o alguna otra fuente). Por esto, el modelo regional se puede considerar como una herramienta que permite obtener resultados más detallados sobre la base de información de baja resolución del modelo global (como una especie de "lente de aumento"). Por lo mismo, el modelo regional puede heredar deficiencias del modelo global que proporciona las condiciones de frontera.

Hoy en día, la tecnología de la computación se ha desarrollado tanto que es posible correr estos modelos incluso en computadoras personales y además es relativamente fácil conseguir los programas y datos necesarios de los modelos atmosféricos. Por ejemplo, algunos modelos atmosféricos regionales populares son:

- PSU/NCAR Mesoscale Model versión 5 (MM5)
- ICTP Regional Climate Model (RegCM)
- Weather Research and Forecasting Model (WRF)
- Workstation Eta model
- Brazilian Regional Atmospheric Modeling System (BRAMS)
- y algunos modelos oceánicos son:
- Regional Ocean Modeling System (ROMS)
- Princeton Ocean Model (POM)

2.8.4. Error y validación de los modelos

Los modelos numéricos, por necesidad, emplean una variedad de aproximaciones que pueden no ser apropiadas para algún fenómeno de interés y son, por lo tanto, fuentes de error. Las principales fuentes de error son: Baja resolución: Por lo cual los efectos sobre el clima de aspectos de escala local (por ej., valles interandinos, afloramiento costero) no son correctamente representados.

Parametrizaciones: Estos son métodos semi-empíricos que se basan en observaciones hechas en condiciones particulares y que podrían no ser apropiadas en otras.

Condiciones iniciales y de frontera: Los errores que existan en los datos utilizados para definir estas condiciones (por ej. datos de temperatura de mar, condiciones atmosféricas de un modelo global, etc.) afectarán negativamente los resultados finales.

El desarrollo de modelos numéricos es una actividad de investigación intensiva que involucra a especialistas en diferentes aspectos del sistema climático. Una componente crucial en el desarrollo es el de la validación, que consiste en comparar críticamente los resultados de los modelos con la información observacional disponible. Esto permite identificar deficiencias en los modelos, lo cual orienta el esfuerzo de los investigadores.

Debido a la complejidad del sistema climático, el solucionar una deficiencia

identificada no es una tarea inmediata y constituye un trabajo de investigación que no tiene el éxito garantizado. Un ejemplo particularmente relevante a nosotros es la dificultad que tienen prácticamente todos los modelos climáticos (océano y atmósfera acoplados) en representar correctamente la frialdad del mar peruano, lo cual fue identificado hace más de una década y, sin embargo, aún no tiene solución.

III. Método

3.1. Tipo de investigación

La investigación es aplicada, ya que busca conocer el comportamiento del sistema hídrico superficial en la subcuenca Shullcas frente a la dinámica de sus variables en el tiempo como el caudal y el área glaciar.

Es explicativo ya que busca asociar un modelo numérico el cual interprete la dinámica hídrica de la subcuenca Shullcas. En cuanto al tipo de datos empleados es cuantitativa: Se estima numéricamente la tasa superficial de retroceso glaciar Km^2 y el aporte hídrico de la subcuenca m^3/s .

Según el grado de manipulación de las variables la investigación es; no experimental porque se basa en la observación del retroceso glaciar y la fenomenología hídrica de sus cauces.

La inferencia del estudio es inductiva ya que a partir de estimaciones particulares como el comportamiento del glaciar y el rendimiento hídrico se elabora un modelo numérico. En cuanto al periodo de temporalidad el estudio es longitudinal, agrupa los datos históricos y registros de teledetección del área de estudio.

3.2. Ámbito temporal y espacial

El estudio se realizará en el departamento de Junín, provincia de Huancayo el área de influencia directa está determinada por la zona del glaciar Huaytapallana y la subcuenca Shullcas con 23206.87 Ha donde se asienta la ciudad de Huancayo en la parte baja conocida también como el valle del Mantaro. Mientras los años de registro hidrométrico (precipitación y caudales) y de teledetección (imágenes Landsat) están conformado por el periodo de 1975 al 2019.

3.3. Variables

Se identifico las siguientes variables, según los objetivos específicos del presente.

Tabla 21

Variables e indicadores de cambio de la cobertura glaciár

| Categoría | Variables | | Indicadores |
|-----------------------------------|-----------------|--------------------------|-------------|
| | Dependientes | Independientes | |
| Variación de la Cobertura Glaciár | Hielo y Nieve | Temperatura | °C |
| | | Albedo | |
| | | Precipitación | mm |
| | | Radiación | Joule |
| | | Evaporación | mm/día |
| | | Altitud | msnm |
| | Índice de nieve | Pendiente de relieve | % |
| | | Contaminación | ppm |
| | | Banda Visible | µm |
| | | Banda Infrarroja Cercana | µm |
| | | Espectro de Nieve | |
| | | Espectro de Hielo | |

Nota: *Elaboración propia*

Tabla 22

Variables e indicadores de hidrología del glaciár

| Categoría | Variables | | Indicadores |
|------------------------|--------------------|----------------------------------|-----------------|
| | Dependientes | Independientes | |
| Hidrología del Glaciár | Caudal del Glaciár | Precipitación líquida y sólida | mm |
| | | Fusión del Glaciár | Km ² |
| | | Escorrentía periglaciár | mm |
| | | Flujo Endoglaciár rápido y lento | mm |

Nota: *Elaboración propia*

Tabla 23

Variables e indicadores hidrología de la subcuena

| Categoría | Variables | | Indicadores |
|---------------------------|---------------------|----------------|-------------|
| | Dependientes | Independientes | |
| Hidrología de la Subcuena | Rendimiento Hídrico | Precipitación | mm |
| | | Evaporación | mm |
| | | Escorrentía | mm |
| | | Infiltración | mm |

Nota: *Elaboración propia.*

3.4. Población y muestra

El estudio toma como universo la cuenca del Mantaro, que es un sistema hidrográfico complejo que posee 23 subcuencas. La población se define como las subcuencas que tienen como cabecera de cuenca el glaciar Huaytapallana que son 4 subcuencas: Shullcas, Pariahuanca, Tulumayo y Achamayo. La muestra está definida únicamente por la subcuenca Shullcas, en esta se realizará el análisis de rendimiento hídrico y variación multitemporal del glaciar. La subcuenca es un sistema dinámico y completo que posee la información que se necesitara en el estudio.

3.5. Instrumentos

Tabla 24

Equipos para realizar el estudio

| Ítem | Equipo | Cantidad | Uso |
|------|--|----------|---------------------------------------|
| 1 | Computadora i7, 4RAM, 2Gb de Video. | 1 | Recolección y procesamiento de datos. |
| 2 | Calculadora científica Casio ClassPad II | 1 | Procesamiento de datos en campo. |
| 3 | GPS Garmin etrex 20 | 1 | Geolocalización en tiempo real. |
| 4 | Cámara Digital | 1 | Obtención de registro fotográfico. |
| 5 | Alquiler Camioneta | 1 | Viaje de investigación al nevado. |
| 6 | Impresora a colores | 1 | Impresión de informe |

Nota: *Elaboración propia.*

Tabla 25

Materiales para realizar el estudio

| Ítem | Materiales | Cantidad | Uso |
|------|-----------------------|----------|--|
| 1 | Cartas IGN | 1 | Ubicación política del área de estudio |
| 2 | Útiles de escritorio | 1 | Uso durante toda la investigación. |
| 3 | EPPs | 2 | Línea de protección a la salud durante el trabajo de campo |
| 4 | AUTOCAD CIVIL 3D 2016 | 1 | Procesamiento de datos topográficos. |
| 5 | MATLAB R2018 | 1 | Procesamiento de datos e integración modelo numérico. |

| | | | |
|----|------------------------|---|--|
| 6 | ENVI 5.3 | 1 | Análisis de imágenes satelitales. |
| 7 | ARCGIS 10.5 | 1 | Proceso y diseño de mapas temáticos. |
| 8 | Microsoft Office | 1 | Herramientas de proceso de textos, cálculos, presentaciones, base de datos, etc. |
| 9 | IBM SPSS Statistics 18 | 1 | Análisis multivariable de modelos numéricos |
| 10 | Minitab 18 | 1 | Análisis de regresión de datos del área glaciar, precipitación y afloros. |

Nota: *Elaboración propia.*

3.6. Procedimientos

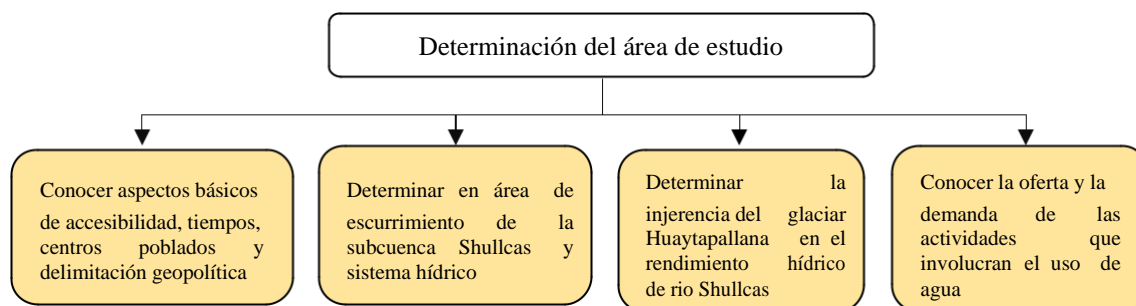
Para la ejecución del proyecto se desarrolló en dos etapas.

3.6.1. Primera Etapa

- a. Definición del área de estudio y contrastar su influencia directa e indirecta en el sistema hídrico de la cuenca Shullcas.

Diagrama 1

Determinación del área de estudio

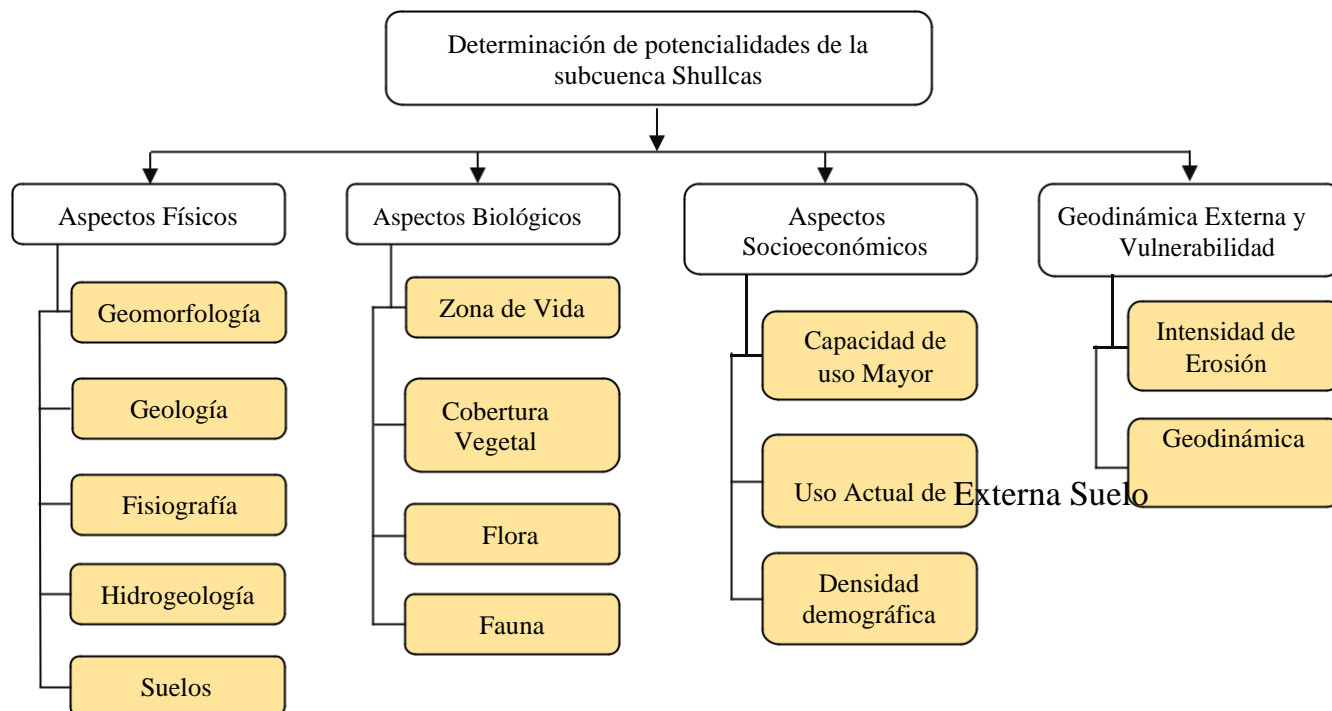


Nota: *Elaboración propia.*

- b. Diagnóstico de potencialidades de la subcuenca Shullcas, aquí nos basaremos en la bibliografía de estudios orientados a la ZEE del departamento de Junín por parte del MINAM, donde extraeremos información puntual de nuestra área de estudio.

Diagrama 2

Zonificación Ecológica Económica de la subcuenca Shullcas



Nota: Elaboración propia.

- c. Evaluación climática de la subcuenca Shullcas, se procederá a procesar la información meteorológica recolectada por décadas mediante organismos privados e instituciones estatales. Se realizará el proceso y se determinará el comportamiento histórico de las variables climáticas expresadas en modelos numéricos.

3.7. Análisis de datos

3.7.1. Tratamiento de datos con software estadístico

Para el tratamiento de datos se utilizó la hoja de cálculo de Ms Excel y para los procesos estadísticos se empleó el programa IBM SPSS Statistics 25, en la hoja de cálculo se realizaron los principales gráficos, creación de tablas dinámicas mediante el uso de condicionales lógicas y filtrado de valores, en caso del IBM SPSS, se aplicó en el proceso netamente estadístico determinando la tasa de retroceso anual del glaciar, la proyección de modelos de series temporales ARIMA, que son de vital importancia en la proyección de datos

multivariabes modelando escenarios futuros en la disponibilidad de agua en la subcuenca Shullcas.

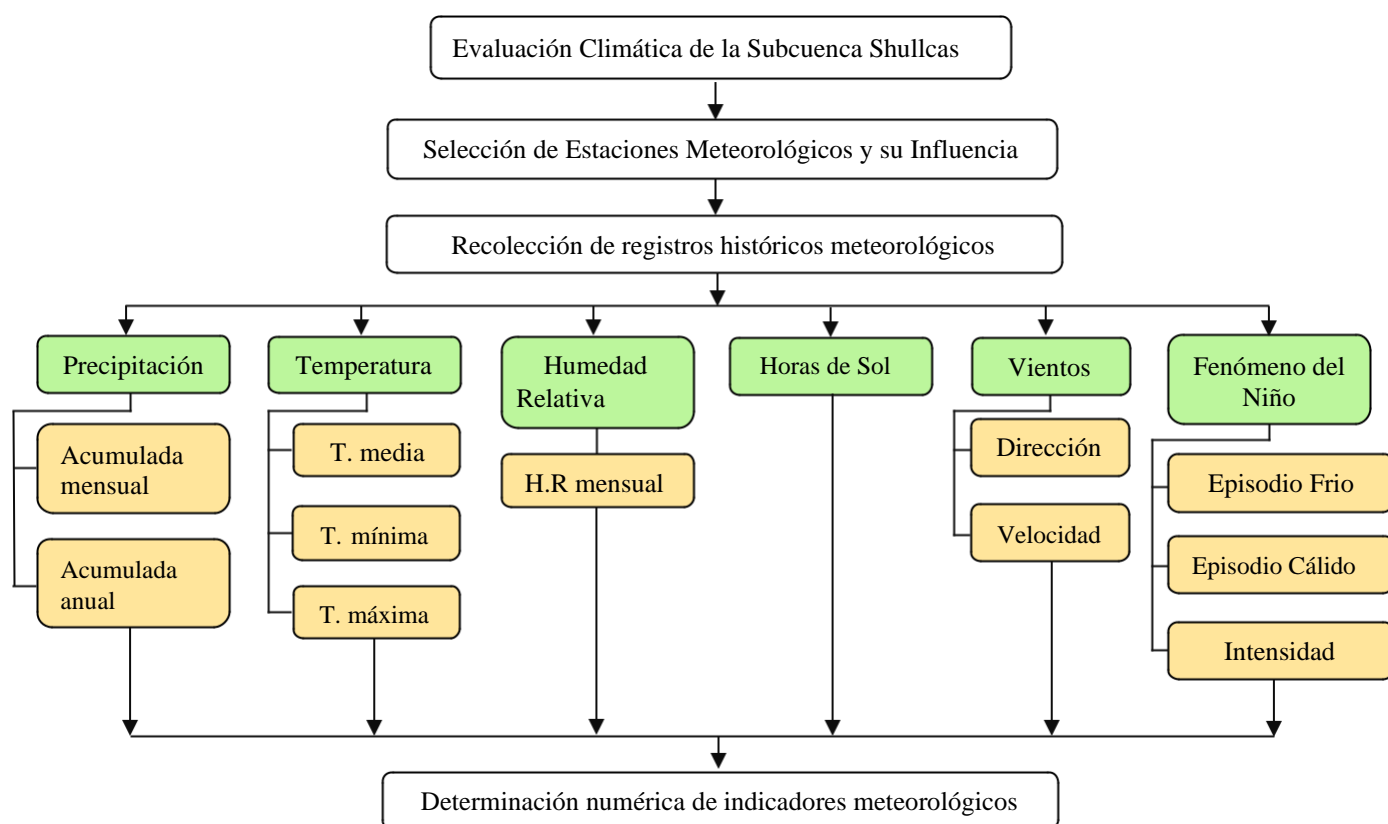
En cuanto a la contrastación de la hipótesis se aplicará el modelo de proyección de área glaciar hasta el año 2050 elaborado mediante el modelo autorregresivo de medias móviles (ARIMA), donde la curva negativa de la función del área glaciar en función al tiempo afirmará la hipótesis.

3.8. Consideraciones éticas

La presente investigación no copia a ningún autor, pero esta elaborada en base a estudios explorativos y unidireccionales en las diferentes variables aplicadas, los autores fueron citados como referentes. La información analizada es competencia de organismos del estado los cuales se obtuvieron con la ley de libre acceso a la información pública.

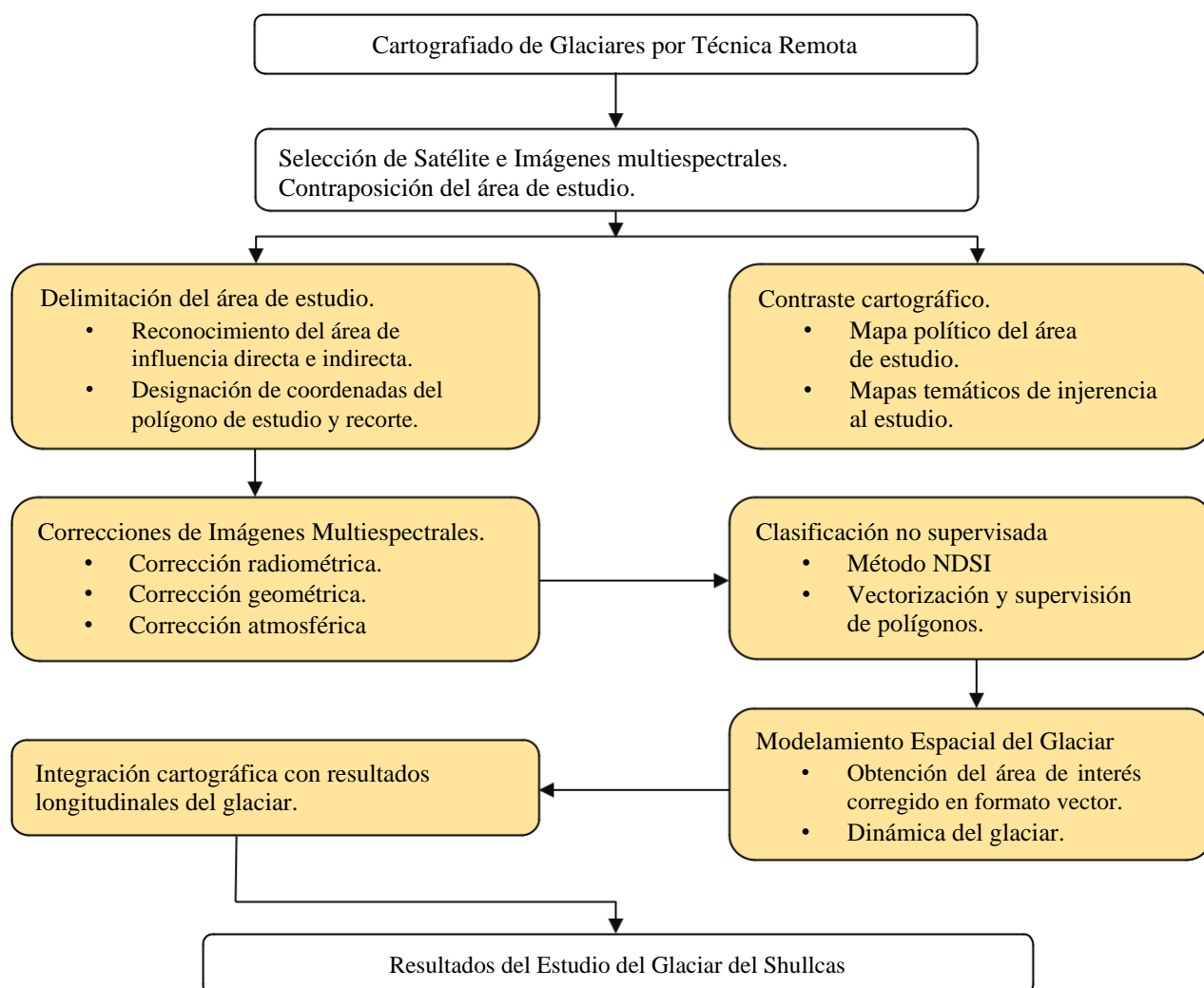
Diagrama 3

Evaluación climática y meteorológica de la subcuenca Shullcas



Nota: *Elaboración propia.*

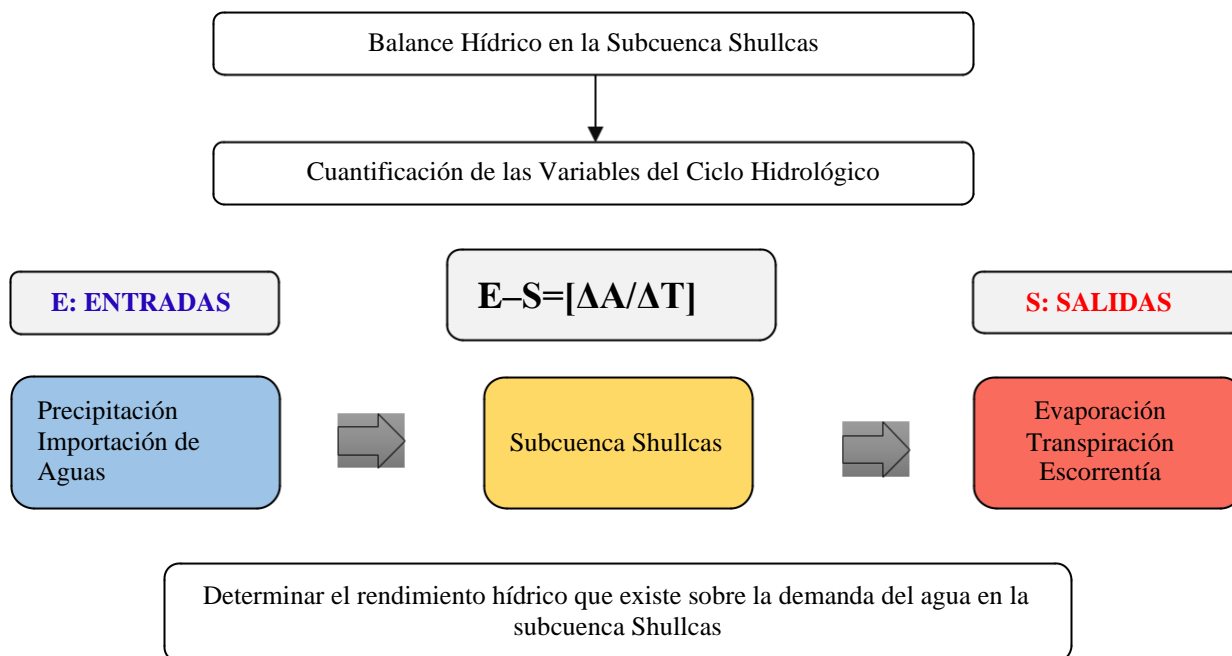
d. Determinación satelital de la variación del glaciar Huaytapallana.

Diagrama 4*Determinación satelital de la variación del glaciar Huaytapallana***Nota:** *Elaboración propia.*

e. Determinación del balance hídrico de la Subcuenca Shullcas.

Diagrama 5

Determinación del balance hídrico de la Subcuenca Shullcas

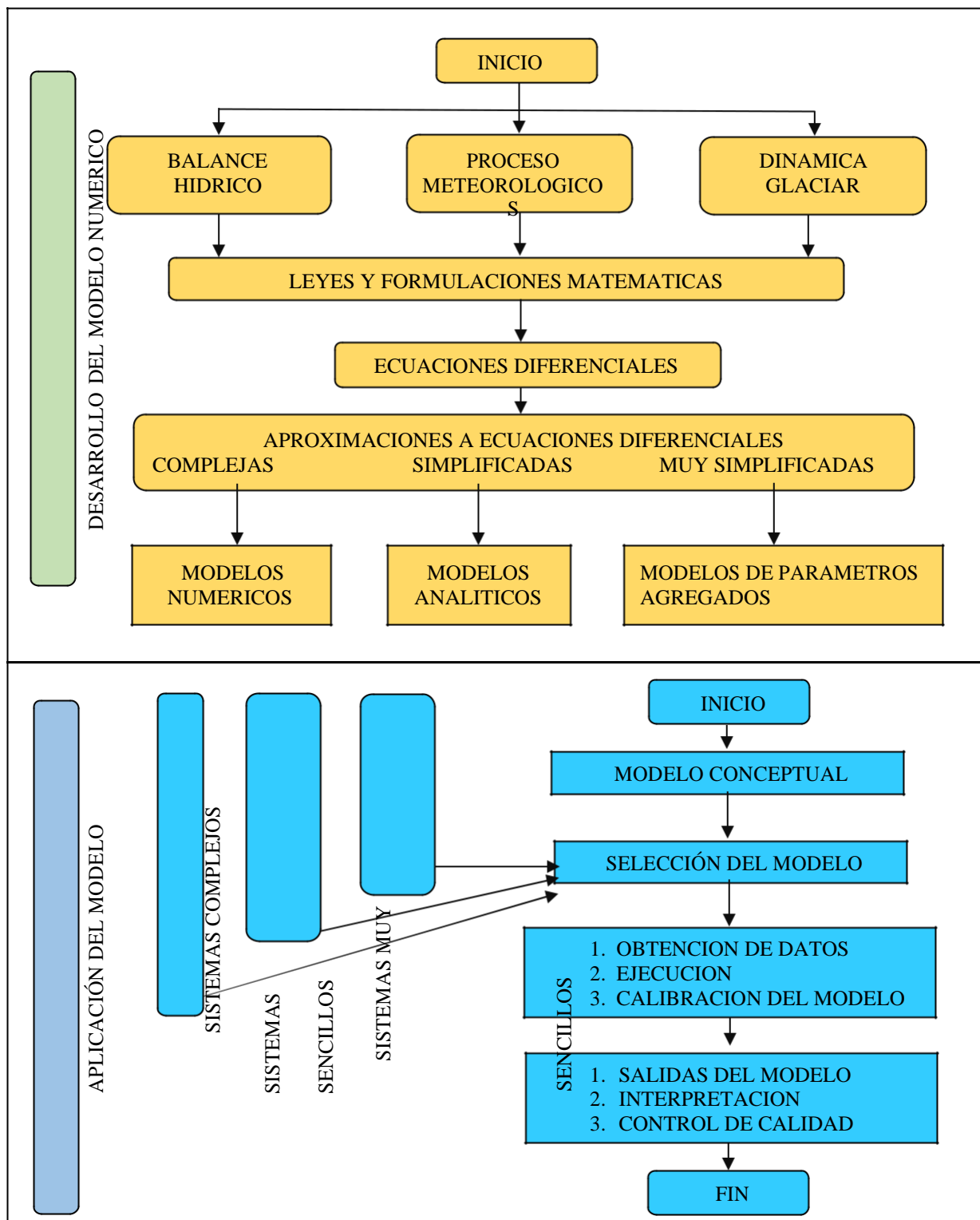


Nota: *Elaboración propia.*

3.8.1. Segunda Etapa

Diagrama 6

Integración del modelo numérico de rendimiento hídrico y retroceso glaciar



Nota: Adaptado de Anderson, 1992, y, Peel y Speight, 1996.

IV. Resultados

4.1. Evaluación geopolítica de la subcuenca Shullcas

4.1.1. La cuenca Mantaro y la subcuenca Shullcas.

Se encuentra ubicada en el centro del Perú, contiene un área de 34 550.08 Km², que abarca los departamentos de Junín, Pasco, Huancavelica y Ayacucho. El río Mantaro nace en el lago Chinchaycocha a 4090 msnm, y desemboca en el río Ene donde presenta una diferencia de cotas 3600 metros aproximadamente, está compuesto de 23 subcuencas y varias microcuencas que confluyen en las riberas del río Mantaro, tiene 6 717 lagos y lagunas con un área de 76 761.57 Ha.

Tabla 26

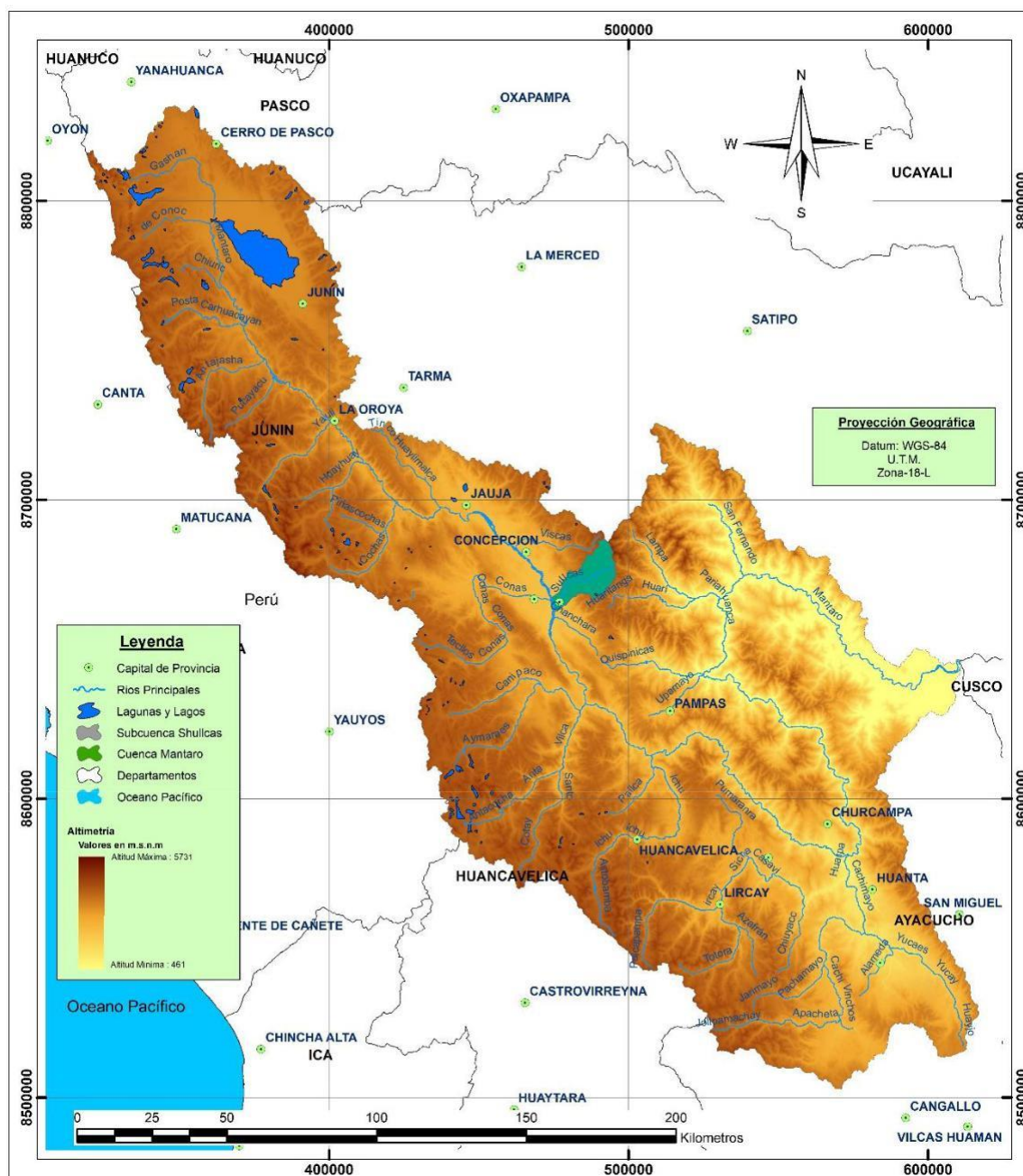
Unidades hidrológicas principales de la cuenca Mantaro

| Número | Subcuenca | Área Km ² | Hectáreas Ha | Porcentaje % |
|--------------|------------------|----------------------|--------------------|---------------|
| 1 | Atoc Huarco | 307.102 | 30710.200 | 0.89 |
| 2 | Chinchaycocha | 1692.579 | 169257.900 | 4.90 |
| 3 | Colorado | 261.838 | 26183.800 | 0.76 |
| 4 | Conocancha | 714.027 | 71402.700 | 2.07 |
| 5 | Huari | 493.448 | 49344.800 | 1.43 |
| 6 | Pachacayo | 821.771 | 82177.100 | 2.38 |
| 7 | Quisualcancha | 335.271 | 33527.100 | 0.97 |
| 8 | Santa Ana | 600.191 | 60019.100 | 1.74 |
| 9 | San Juan | 924.281 | 92428.100 | 2.68 |
| 10 | Yauli | 688.461 | 68846.100 | 1.99 |
| 11 | Achamayo | 306.052 | 30605.200 | 0.89 |
| 12 | Cunas | 1701.648 | 170164.800 | 4.93 |
| 13 | Shullcas | 180.978 | 18097.800 | 0.52 |
| 14 | Yacus | 367.677 | 36767.700 | 1.06 |
| 15 | Huanchuy | 705.787 | 70578.700 | 2.04 |
| 16 | Huarpa | 6813.838 | 681383.800 | 19.72 |
| 17 | Ichu | 1381.941 | 138194.100 | 4.00 |
| 18 | Paraíso | 392.312 | 39231.200 | 1.14 |
| 19 | Pariahuanca | 988.785 | 98878.500 | 2.86 |
| 20 | San Fernando | 1205.173 | 120517.300 | 3.49 |
| 21 | Upamayu | 265.049 | 26504.900 | 0.77 |
| 22 | Vilca Moya | 3048.927 | 304892.700 | 8.82 |
| 23 | Vizcatan | 539.100 | 53910.000 | 1.56 |
| 24 | Microcuencas (*) | 9813.797 | 981379.700 | 28.40 |
| Total | | 34550.033 | 3455003.300 | 100.00 |

Nota: Extraído de estudio hidrológico de la cuenca Mantaro. (IGP, 2005).

Figura 34

La cuenca Mantaro y la ubicación de la subcuenca Shullcas



Nota: Mapa de la cuenca del Mantaro y la ubicación de la subcuenca Shullcas. Elaboración: Propia.

4.1.2. Ubicación de la subcuenca Shullcas.

La subcuenca Shullcas está ubicada en la parte central del valle del Mantaro, la parte baja de la subcuenca alberga a la ciudad de Huancayo. Su origen es glaciar, y en sus periodos de estío siempre mantiene un régimen regular que hace uso la población huancaína.

a. Ubicación Geográfica

La subcuenca Shullcas abarca las siguientes coordenadas geográficas; en latitud sur de 11°52'41'' a 12°05'55'' y longitud oeste de 75°04'26'' a 75°13'31''.

b. Ubicación Política

El área de estudio está ubicada en la parte central del país en el departamento de Junín, Provincia de Huancayo, y distrito de Huancayo.

c. Ubicación Hidrográfica

La subcuenca del Shullcas pertenece a la cuenca del Mantaro.

4.1.3. Acceso y vías de comunicación

Se puede llegar a la ciudad de Huancayo parte baja de la subcuenca Shullcas mediante la vía carretera central, realizando los recorridos de la siguiente forma:

- Ruta a. Lima – La Oroya – Jauja – Ciudad de Huancayo en 6 horas en auto, vía nacional asfaltada en buenas condiciones.
- Ruta b. Lima – San Vicente de Cañete – Noryauyos Cocha – Huancayo, 8 horas en camioneta, vía parcialmente asfaltada en regular estado.

4.1.4. Aspectos Socioeconómico

La ciudad de Huancayo es el núcleo urbano de mayor importancia por tener una población de 545 615 habitantes según el INEI – Censo 2017 y una tasa de crecimiento de 1.6% en el periodo 2007 – 2017.

4.2. ZEE de la subcuenca Shullcas

La subcuenca del Shullcas siendo una de las principales de la región Junín por tener una de las ciudades más importantes del país en la parte media del valle del Mantaro. Aquí analizaremos detalladamente los aspectos físicos, biológicos y geodinámicos, con el fin de conocer el potencial de la zona de estudio y evaluar el grado de influencia de estos componentes con el modelo numérico. Todos los datos fueron extraídos del proyecto

“Fortalecimiento de capacidades para la zonificación ecológica y económica de la región Junín”. Publicado por MINAM el 2015.

4.2.1. Fisiografía

Tabla 27

Descripción fisiográfica de la subcuenca Shullcas

| Paisaje | Subpaisaje | Símbolo | Categoría | Área Ha. | Por. % |
|-------------------|--------------------------|---------|--|-----------------------|--------|
| Área Urbana | Área Urbana | Ur | Área Urbana | 1921.20 | 8.28 |
| Colinas | Colinas Bajas | Cb-Me | Colinas Bajas Moderadamente Empinadas | 749.62 | 3.23 |
| | Colinas Altas | Lc-Ae | Laderas de Colinas Altas Empinadas | 1625.00 | 7.00 |
| Laguna | Laguna | La | Lagunas | 169.02 | 0.73 |
| Montañas | Cimas de Montañas | Cm-E | Cimas de Montañas Empinadas | 124.56 | 0.54 |
| | | Cm-Me | Cimas de Montañas Moderadamente Empinadas | 1931.83 | 8.32 |
| | | Gl | Glaciares | 455.39 | 1.96 |
| | Laderas de Montañas | L-Me | Laderas de Montañas Empinadas | 3715.54 | 16.01 |
| | | Lm-Ee | Laderas de Montañas Extremadamente Empinadas | 6855.78 | 29.54 |
| | | Lm-Me | Laderas de Montañas Muy Empinadas | 1654.42 | 7.13 |
| Planicies | Planicie Coluvio | | | | |
| | Aluvial | Aa | Abanico Aluvial | 271.29 | 1.17 |
| | Planicies Hidromórficas | Bo | Bofedales | 383.23 | 1.65 |
| | Planicie Aluvional | F-Va | Fondo de Valle Aluvial | 77.26 | 0.33 |
| | Planicie Fluvioglacial | F-Vf | Fondo de Valle Fluvioglacial | 1615.06 | 6.96 |
| | Planicie Coluvio Aluvial | Pf-I | Piedemonte Fuertemente Inclinados | 463.59 | 2.00 |
| | | Pm-I | Piedemonte Moderadamente Inclinados | 5.52 | 0.02 |
| | Planicie Aluvional | Ta | Terrazas Altas | 809.76 | 3.49 |
| | | Tb-I | Terrazas Bajas Inundables | 14.57 | 0.06 |
| | | Tb-Ni | Terrazas Bajas No Inundables | 330.30 | 1.42 |
| Ríos | Ríos | Río | Ríos | 33.92 | 0.15 |
| Área Total | | | | 23206.87100.00 | |

Nota: Adaptado, *Zonificación ecológica y económica de la región Junín, 2015.*

El mapa fisiográfico de la subcuenca Shullcas, codificado como: PL-08, gráfica los elementos expuestos y se encuentra en el ítem Anexos.

4.2.2. Geología

Tabla 28

Descripción geológica de la subcuenca Shullcas

| Símbolo | Descripción | Era | Tipo de Roca | Litología | Área Ha | Por. % |
|-------------------|--|-------------|----------------|---|-----------------------|--------|
| Cp | Centro poblado | No aplica | No aplica | No aplica | 1921.20 | 8.28 |
| CsPi-co | Gpo. Copacabana | Paleozoico | Sedimentaria | Calizas, lutitas, areniscas | 104.45 | 0.45 |
| Cs-ta | Gpo. Tarma | Paleozoico | Sedimentaria | Lutitas y calizas silicias | 44.62 | 0.19 |
| Ji-a | Fm. Aramachay | Mesozoico | Sedimentaria | Calizas, limoarcillitas | 265.91 | 1.15 |
| L | Laguna | No Aplica | No Aplica | No aplica | 169.02 | 0.73 |
| Nv | Nevado | No Aplica | No Aplica | No aplica | 455.39 | 1.96 |
| Pc-es/fl/gn | Secuencia Metamórfica Marairazo-Huaytapallana | Precámbrico | Metamórfica | Esquistos, filitas, gneis, micaesquistos, anfibolitas | 695.46 | 3.00 |
| P-mzg/p | Otras fases magmáticas, monzogranito, porfidos | Paleozoico | Intrusivas | Monzogranito, pórfido. | 34.88 | 0.15 |
| Ps-r | Permico superior riolita | Paleozoico | Intrusivas | Riolita | 489.43 | 2.11 |
| PsTi-m | Gpo. Mitu | Mesozoico | Volcanica-Sed. | Conglomerados, areniscas, lutitas, andesitas | 6964.32 | 30.01 |
| Q-bo | Depósito de bofedal | Cenozoico | Sedimentaria | Limos, arcillas, arenas y material orgánico | 383.23 | 1.65 |
| Q-co | Depósito coluvial | Cenozoico | Sedimentaria | Fragmentos angulosos, arenas y arcillas | 1031.95 | 4.45 |
| Q-el | Depósito eluvial | Cenozoico | Sedimentaria | Fragmentos angulosos, arenas y material fino | 284.27 | 1.22 |
| Q-f | Depósito fluvial | Cenozoico | Sedimentaria | Bolonería, gravas gruesas, finas y arenas | 14.57 | 0.06 |
| Q-gf | Depósito glaciofluvial | Cenozoico | Sedimentaria | Fragmentos, gravas, arenas, limos y arcillas | 1993.15 | 8.59 |
| Q-mo | Depósito morrenico | Cenozoico | Sedimentaria | Fragmentos angulosos, arenas, arcillas y limos | 1696.88 | 7.31 |
| Qr-al | Depósito aluvial reciente | Cenozoico | Sedimentaria | Bolones, gravas, arenas y limos | 330.30 | 1.42 |
| Qsr-al | Depósito aluvial subreciente | Cenozoico | Sedimentaria | Arenas, gravas, arcillas y limos | 815.28 | 3.51 |
| Rio | Rio | No Aplica | No Aplica | No Aplica | 33.92 | 0.15 |
| SD-e | Gpo. Excelsior | Paleozoico | Metamorfica | Pizarras, esquisto, cuarcita | 2817.66 | 12.14 |
| Trs-ch | Fm. Chambara | Mesozoico | Sedimentaria | Calizas silicificadas, areniscas y lutitas | 1917.50 | 8.26 |
| TrsJi-pu | Gpo. Pucara | Mesozoico | Sedimentaria | Calizas, chert | 743.48 | 3.20 |
| Área Total | | | | | 23206.87100.00 | |

Nota: *Adaptado, Zonificación ecológica y económica de la región Junín, 2015.*

El mapa geológico de la subcuenca Shullcas, codificado como: PL-07, grafica los elementos expuestos y se encuentra en el ítem Anexos.

4.2.3. Hidrogeología

Tabla 29

Descripción hidrogeológica de la subcuenca Shullcas

| Símbolo | Nombre Hidrogeológico | Modelo | Submodelo | Ha. | Por. % |
|-------------------|-----------------------------------|--|--|-----------------|---------------|
| D-m | Devónico, marino | Formaciones consolidadas fisuradas, incluye formaciones Kársticas | Acuíferos locales o discontinuos productivos, o acuíferos extensos, pero solo moderadamente productivos (permeabilidad media). (No excluye la existencia en profundidad de otros acuíferos cautivos y más productivos) | 4145.09 | 17.86 |
| PeA-e/gn | Precámbrico | Formaciones con acuíferos locales (detriticos o fisuradas) o regiones sin agua subterránea con cantidad apreciable | Formaciones generalmente sin acuíferos (permeabilidad muy baja) | 650.21 | 2.80 |
| Ps-c | Pérmico superior continental. | Formaciones consolidadas fisuradas, incluye formaciones Kársticas | Acuíferos locales o discontinuos productivos, o acuíferos extensos, pero solo moderadamente productivos (permeabilidad media). (No excluye la existencia en profundidad de otros acuíferos cautivos y más productivos) | 5380.03 | 23.18 |
| PT-mzg/gr | Plutones Tardihercinicos | Formaciones con acuíferos locales (detriticos o fisuradas) o regiones sin agua subterránea con cantidad apreciable | Formaciones generalmente sin acuíferos (permeabilidad muy baja) | 415.66 | 1.79 |
| Qh-c | Cuaternario holoceno-continental. | Formaciones detriticas permeables en general no consolidadas | Acuíferos generalmente extensos, con productividad elevada (permeabilidad elevada) | 6117.92 | 26.36 |
| TsJi-m | TriasicoSup, Jurásico inf. marino | Formaciones consolidadas fisuradas, incluye formaciones Kársticas | Acuíferos generalmente extensos, con productividad elevada (permeabilidad elevada) | 6497.97 | 28.00 |
| Área Total | | | | 23206.87 | 100.00 |

Nota: *Adaptado, Zonificación ecológica y económica de la región Junín, 2015.*

El mapa hidrogeológico de la subcuenca Shullcas, codificado como: PL-10, grafica los elementos expuestos y se encuentra en el ítem Anexos.

4.2.4. Geomorfología

Tabla 30

Descripción geomorfológica de la subcuenca Shullcas

| Símbolo | Categoría | Región | Área Ha. | Por. % |
|-------------------|--|--------------------------|-----------------|---------------|
| Cp | Centro Poblado | SIERRA - Zona Mesoandina | 592.84 | 2.55 |
| Fv2-a | Planicie - Fondo de valle y llanura aluvial | SIERRA - Zona Mesoandina | 2025.41 | 8.73 |
| Islas | Islas | SIERRA - Zona Mesoandina | 1.11 | 0.00 |
| La | Laguna | SIERRA - Zona Altoandina | 104.56 | 0.45 |
| Nv | Nevado | SIERRA - Zona Altoandina | 686.33 | 2.96 |
| Ri | Rio | SIERRA - Zona Mesoandina | 85.68 | 0.37 |
| Vs1-d | Colina y Montaña - Vertiente montañosa y colina moderadamente empinada | SIERRA - Zona Altoandina | 2198.58 | 9.47 |
| Vs1-e | Colina y Montaña - Vertiente montañosa y colina empinada a escarpada | SIERRA - Zona Altoandina | 17243.23 | 74.30 |
| Vso-c | Planicie Ondulada a Disectada - Vertiente allanada a disectada | SIERRA - Zona Mesoandina | 269.13 | 1.16 |
| Área Total | | | 23206.87 | 100.00 |

Nota: *Adaptado, Zonificación ecológica y económica de la región Junín, 2015.*

El mapa geomorfológico de la subcuenca Shullcas, codificado como: PL-09, grafica los elementos expuestos y se encuentra en el ítem Anexos.

4.2.5. Suelo

Tabla 31

Descripción de suelos de la subcuenca Shullcas

| Símbolo | Nombre de Suelo | Taxonomía de Suelo | Permeabilidad | Área Ha | Por. % |
|-------------------|------------------------------------|---|----------------------|-----------------|---------------|
| Ab | Acobamba | Typic Ustorthents | Moderadamente lenta | 271.29 | 1.17 |
| Ab-Am | Acobamba-Andamarca | Typic Ustorthents-Fluventic Haplustepts | Moderada | 469.12 | 2.02 |
| Ab-CII | Acobamba-Canchayllo | Typic Ustorthents-Lithic Calciustepts | Moderadamente lenta | 1457.37 | 6.28 |
| Ab-Rn | Acobamba-Runatullo | Typic Ustorthents-Lithic Ustorthents | Moderadamente lenta | 537.59 | 2.32 |
| Am-Ab | Andamarca-Acobamba | Fluventic Haplustepts-Typic Ustorthents | Moderada | 809.76 | 3.49 |
| AU | Área Urbana | Área Urbana | No utilizado | 1921.20 | 8.28 |
| Cp-AM (aflt) | Carhuapata-Areas Micelaneas (AfLt) | Lithic Haplocryands-AM | Moderada | 436.64 | 1.88 |
| Lag | Lagunas | Lagunas | No utilizado | 169.02 | 0.73 |
| Pglac | Áreas Misceláneas Glaciares | Áreas Miscelaneas Glaciares | No utilizado | 455.39 | 1.96 |
| PLacw | Bofedales | Typic Cryohemists - Hydric Cryohemists | Saturados | 383.23 | 1.65 |
| Pm | Pomacancha | Lithic Calcicryolls | Moderada | 212.02 | 0.91 |
| Ri-Hy | Ricran-Huayhuay | Typic Cryofluvents-Typic Humicryepts | Moderada | 77.26 | 0.33 |
| Ríos | Ríos | Ríos | No utilizado | 33.92 | 0.15 |
| Rn-AMaflt | Runatullo-AM (aflt) | Lithic Ustorthents-AM (aflt) | Moderada | 321.02 | 1.38 |
| Se | Sensa | Typic Udifluvents | Moderada | 14.57 | 0.06 |
| SR-Hp | Santa Rosa-Huaytapallana | Typic Cryorthents-Lithic Cryorthents | Moderada | 13692.10 | 59.00 |
| SR-Hy | Santa Rosa-Huayhuay Sicaya- | Typic Cryorthents-Typic Humicryepts | Moderada | 1615.06 | 6.96 |
| Sy-Ab | Acobamba | Typic Ustifluvents-Typic Ustorthents | Moderada | 330.30 | 1.42 |
| Área Total | | | | 23206.87 | 100.00 |

Nota: *Adaptado, Zonificación ecológica y económica de la región Junín, 2015.*

El mapa suelos de la subcuenca Shullcas, codificado como: PL-12, grafica los elementos expuestos y se encuentra en el ítem Anexos.

4.2.6. Zonas de Vida

Tabla 32

Descripción de zonas de vida de la subcuenca Shullcas

| Símbolo | Descripción Temática | Rango de Altitud | Área Ha. | Por. % |
|-------------------|--------------------------------------|-------------------------|-----------------|---------------|
| bh - MT | Bosque Húmedo Montano Tropical | 3000-4000 | 5615.54 | 24.20 |
| bs - MBT | Bosque Seco Montano Bajo Tropical | 2000-3000 | 1192.97 | 5.14 |
| NT | Nival Tropical | 4750-5733 | 216.75 | 0.93 |
| ph - SaT | Páramo Húmedo Subalpino Tropical | 4000-4500 | 1806.72 | 7.79 |
| pmh - SaT | Páramo muy Húmedo Subalpino Tropical | 4000-4500 | 11702.89 | 50.43 |
| tp - AT | Tundra Pluvial Alpino Tropical | 4000-4500 | 2672.01 | 11.51 |
| Área Total | | | 23206.87 | 100.00 |

Nota: *Adaptado, Zonificación ecológica y económica de la región Junín, 2015.*

El mapa de zonas de vida de la subcuenca Shullcas, codificado como: PL-15, grafica los elementos expuestos y se encuentra en el ítem Anexos.

4.2.7. Cobertura Vegetal

Tabla 33

Descripción de la cobertura vegetal de la subcuenca Shullcas

| Símbolo | Cobertura | Región | Área Ha. | Por. % |
|-------------------|---------------------|---|-----------------|---------------|
| Bo | Bofedales | Bofedales | 383.23 | 1.65 |
| Cp | Área Urbana | Centros Poblados | 1921.20 | 8.28 |
| Cu | Área Agrícola | Cultivos | 2988.89 | 12.88 |
| Heah-p | Herbazal | Herbazal Erguido Andino Húmedo de Planicies | 1008.07 | 4.34 |
| Heax-Cm | Herbazal | Herbazal Erguido Altoandino Xérico de Colinas y Montañas | 149.27 | 0.64 |
| He-Mahc | Herbazal | Herbazal Erguido y Matorral Andino Húmedo de Colinas, Montañas y Planicie | 7885.82 | 33.98 |
| Hrah-Cm | Herbazal | Herbazal Rastrero Andino Húmedo de Colinas y Montañas | 5519.28 | 23.78 |
| Hrah-P | Herbazal | Herbazal Rastrero Andino Húmedo de Planicies | 634.73 | 2.74 |
| La | Lago y Lagunas | Lagunas | 169.02 | 0.73 |
| Mmsh-Mc | Matorral | Matorral Montano Sub Húmedo de Montañas y Colinas | 487.27 | 2.10 |
| Ne | Nevados | Nevados | 455.39 | 1.96 |
| Pf | Plantación Forestal | Plantación Forestal | 374.89 | 1.62 |
| Ri | Ríos | Ríos | 33.92 | 0.15 |
| Sd | Sin Vegetación | Suelos Desnudos | 1195.90 | 5.15 |
| Área Total | | | 23206.87 | 100.00 |

Nota: Adaptado, *Zonificación ecológica y económica de la región Junín, 2015.*

El mapa de cobertura vegetal de la subcuenca Shullcas, codificado como: PL-14, grafica los elementos expuestos y se encuentra en el ítem Anexos.

4.2.8. Capacidad de uso mayor de suelos CUM

Tabla 34

Descripción de capacidad de uso mayor de la subcuenca Shullcas

| Símbolo | Reg. Humedad | Descripción | Área Ha. | Por. % |
|-------------------|---------------------|---|-----------------|---------------|
| A3sc | Ustico | Tierras aptas para cultivos en limpio con calidad agrológica baja, limitada por suelo y clima | 1880.47 | 8.10 |
| A3sec-Xse | Ustico | Tierras aptas para cultivos en limpio con calidad agrológica baja, limitada por suelo, erosión y clima - Tierras de Protección, limitada en suelo y erosión | 537.59 | 2.32 |
| A3si | Udico | Tierras aptas para cultivos en limpio con calidad agrológica baja, limitada por suelo e inundación | 14.57 | 0.06 |
| AU | AU | Área urbana | 1921.20 | 8.28 |
| P2sc | Ustico | Tierras aptas para pastos con calidad agrológica media, limitada por suelo y clima | 1692.32 | 7.29 |
| P3sec | Ustico | Tierras aptas para pastos con calidad agrológica baja, limitada por suelo, erosión y clima | 212.02 | 0.91 |
| P3sec-Xsec | Crítico | Tierras aptas para pastos con calidad agrológica baja, limitada por suelo, erosión y clima - Tierras de protección, limitada en suelo, erosión y clima Tierras aptas para pastos con calidad agrológica baja, limitada por suelo y erosión - Tierras de Protección, limitada en suelo y erosión | 5181.91 | 22.33 |
| P3se-Xse | Ustico | Tierras aptas para pastos con calidad agrológica baja, limitada por suelo y erosión - Tierras de Protección, limitada en suelo y erosión | 1457.37 | 6.28 |
| P3swc | Crítico | Tierras aptas para pastos con calidad agrológica baja, limitada por suelo, drenaje y clima | 383.23 | 1.65 |
| Rios | Ustico | Ríos | 33.92 | 0.15 |
| Xnvd | Crítico | Tierras de protección (Nevados) | 455.39 | 1.96 |
| Xsec | Crítico | Tierras de protección, limitada en suelo, erosión y clima | 8510.20 | 36.67 |
| Xsec-Xaflt | Crítico | Tierras de protección, limitada en suelo, erosión y clima - Tierras de protección, afloramiento lítico | 436.64 | 1.88 |
| Xse-Xs(aflt) | Ustico | Tierras de protección, limitada en suelo y erosión - Tierras de protección, limitada en suelo (Afloramiento lítico) | 321.02 | 1.38 |
| Xw | Udico | Lagunas | 169.02 | 0.73 |
| A3sc | Ustico | Tierras aptas para cultivos en limpio con calidad agrológica baja, limitada por suelo y clima | 1880.47 | 8.10 |
| Área Total | | | 23206.87 | 100.00 |

Nota: Adaptado, *Zonificación ecológica y económica de la región Junín, 2015.*

El mapa de capacidad de uso mayor de suelos de la subcuenca Shullcas, codificado como: PL-11, grafica los elementos expuestos y se encuentra en el ítem Anexos.

4.2.9. *Uso Actual de Suelos*

Tabla 35

Descripción de uso de suelos de la subcuenca Shullcas

| Símbolo | Mención Internacional | Uso de Suelo | Área Ha. | Por. % |
|-------------------|--|---|-----------------|---------------|
| Ar | Afloramiento rocoso | Terrenos sin uso y/o improductivos | 1195.90 | 5.15 |
| Cp | Centros Poblados | Áreas urbanas y/o instalaciones gubernamentales y privadas | 1921.20 | 8.28 |
| La | Lagunas | Terrenos sin uso y/o improductivos | 169.02 | 0.73 |
| Ma | Masas de Agua | Terrenos sin uso y/o improductivos | 33.92 | 0.15 |
| Ne | Nevados | Terrenos sin uso y/o improductivos | 455.39 | 1.96 |
| Pf | Plantaciones forestales | Terrenos con huertos de frutales y otros cultivos perennes | 374.89 | 1.62 |
| Pna-upe | Pastizales nativos con arbustos con uso pecuario extensivo | Zonas de praderas naturales | 2081.63 | 8.97 |
| Pnh | Pastizales nativos hidromorfos (Bofedales) | Zonas de praderas naturales | 383.23 | 1.65 |
| Pn-upe | Pastizales nativos de uso pecuario extensivo | Zonas de praderas naturales | 13040.86 | 56.19 |
| Tce-bfr | Terrenos con cultivos extensivos y bordes forestales con riego | Terrenos con cultivos extensivos (papa, camote, yuca, etc.) | 459.69 | 1.98 |
| Tce-r | Terrenos con cultivos extensivos con riego | Terrenos con cultivos extensivos (papa, camote, yuca, etc.) | 494.00 | 2.13 |
| Tce-s | Terrenos con cultivos extensivos en seco | Terrenos con cultivos extensivos (papa, camote, yuca, etc.) | 2036.38 | 8.77 |
| Van-upe | Vegetación arbustiva natural con uso pecuario extensivo | Terrenos con bosques | 560.75 | 2.42 |
| Área Total | | | 23206.87 | 100.00 |

Nota: *Adaptado, Zonificación ecológica y económica de la región Junín, 2015.*

El mapa de uso de suelos de la subcuenca Shullcas, codificado como: PL-16, grafica los elementos expuestos y se encuentra en el ítem Anexos.

4.2.10. Intensidad de erosión de suelo

Tabla 36

Descripción de la intensidad de la erosión de suelo en la subcuenca Shullcas

| Símbolo | Intensidad de Erosión | Descripción | Área Ha. | Por. % |
|-------------------|------------------------------|--|-----------------|---------------|
| Li | Ligera | Se da en la parte baja de la cuenca | 7990.45 | 34.43 |
| Mo | Moderada | Se genera en los lugares de pendiente moderada | 2351.25 | 10.13 |
| ML | Muy ligera | En pendientes sin cobertura vegetal | 3773.19 | 16.26 |
| Se | Severa | En pendientes fuertes sin cobertura vegetal | 9091.99 | 39.18 |
| Área Total | | | 23206.87 | 100.00 |

Nota: *Adaptado, Zonificación ecológica y económica de la región Junín, 2015.*

El mapa de intensidad de erosión de suelo en la subcuenca Shullcas, codificado como: PL-13, grafica los elementos expuestos y se encuentra en el ítem Anexos.

4.2.11. Flora y Fauna

En la subcuenca Shullcas se encuentra las especies en fauna: Nothoprocta ornata (Perdiz andina), Sicalis uropygialis (Chirigüe de lomo brillante), Falco femoralis (Halcon aplomado), Vicugna vicugna (Vicuña), Liolaemus alticolor (Lagartija andina), Colaptes rupícola (Carpintero andino), Lagidium peruanum (Vizcacha).

En cuanto a la flora se distingue por las principales especies: La vegetación que más predomina es el herbazal erguido y matorral andino húmedo de colinas, montañas y planicies. Y otras especies ingresadas como el eucalipto y el pino con fines de uso de madera y leña. En la zona alta de la cuenca se encuentra el ichu - Stipa ichu, pajonales, yaretas - Azorella compacta, el quinal - Polylepis y en humedales altoandinos la totora - Schoenoplectus californicus.

4.2.12. Zonificación ecológica económica

Tabla 37

Descripción de la zonificación ecológica económica en la subcuenca Shullcas

| Código | Zonificación | Descripción Temática | Área Ha. | Por. % |
|--------|--|--|----------|--------|
| 1 | | Zonas para cultivos en limpio | 333.09 | 1.44 |
| 3 | | Zonas para cultivos en limpio con potencial minero | 1012.67 | 4.36 |
| 4 | | Zonas para cultivos en limpio con potencial minero y turístico | 137.99 | 0.59 |
| 7 | | Zonas para cultivos en limpio en suelos inundables con potencial minero | 0.49 | 0.00 |
| 8 | | Zonas para cultivos en limpio en suelos inundables con potencial minero y turístico | 0.06 | 0.00 |
| 9 | | Zonas para cultivos en limpio en tierras de protección por limitación en suelos | 261.96 | 1.13 |
| 13 | | Zonas para cultivos en limpio en tierras de protección por limitación en suelos con potencial minero | 136.43 | 0.59 |
| 14 | | Zonas para cultivos en limpio en tierras de protección por limitación en suelos con potencial minero y turístico | 40.77 | 0.18 |
| 15 | ZONAS PRODUCTIVAS | Zonas para cultivos en limpio en tierras de protección por limitación en suelos con potencial turístico | 28.21 | 0.12 |
| 19 | | Zonas para pastos | 27.36 | 0.12 |
| 22 | | Zonas para pastos con potencial minero | 1466.43 | 6.32 |
| 26 | | Zonas para pastos en tierras de protección por limitación en suelos | 4358.94 | 18.78 |
| 27 | | Zonas para pastos en tierras de protección por limitación en suelos con potencial forestal maderable | 50.83 | 0.22 |
| 28 | | Zonas para pastos en tierras de protección por limitación en suelos con potencial forestal maderable y turístico | 84.55 | 0.36 |
| 31 | | Zonas para pastos en tierras de protección por limitación en suelos con potencial minero | 549.56 | 2.37 |
| 32 | | Zonas para pastos en tierras de protección por limitación en suelos con potencial minero y turístico | 214.25 | 0.92 |
| 33 | | Zonas para pastos en tierras de protección por limitación en suelos con potencial turístico | 199.02 | 0.86 |
| 38 | | Zonas con potencial minero en tierras de protección por limitación en suelos | 72.64 | 0.31 |
| 42 | ZONAS DE PROTECCIÓN Y CONSERVACIÓN ECOLÓGICA | Área de Conservación Regional de Huaytapallana | 2901.03 | 12.50 |
| 52 | | Zonas de Conservación Ecológica por importancia hídrica | 218.33 | 0.94 |
| 54 | | Zonas de protección por limitación en suelos | 21.34 | 0.09 |

| | | | | |
|-------------------|------------------------------------|--|-----------------------|-------|
| 68 | | Zonas degradadas por cultivos transitorios en suelos aptos para pastos | 384.26 | 1.66 |
| 69 | | Zonas degradadas por cultivos transitorios en suelos aptos para pastos con potencial minero | 106.22 | 0.46 |
| 70 | | Zonas degradadas por cultivos transitorios en suelos aptos para pastos con potencial minero y turístico | 76.49 | 0.33 |
| 71 | | Zonas degradadas por cultivos transitorios en suelos aptos para pastos con potencial turístico | 386.13 | 1.66 |
| 74 | | Zonas degradadas por cultivos transitorios en tierras de protección | 176.26 | 0.76 |
| 83 | | Zonas degradadas por extracción forestal en tierras de protección con potencial forestal maderable e hidroenergético | 142.60 | 0.61 |
| 88 | ZONAS DE RECUPERACIÓN | Zonas degradadas por pastoreo en tierras de protección | 4324.64 | 18.64 |
| 89 | | Zonas degradadas por pastoreo en tierras de protección con potencial hidroenergético | 357.12 | 1.54 |
| 90 | | Zonas degradadas por pastoreo en tierras de protección con potencial hidroenergético y minero | 8.16 | 0.04 |
| 92 | | Zonas degradadas por pastoreo en tierras de protección con potencial hidroenergético, minero y turístico | 11.65 | 0.05 |
| 93 | | Zonas degradadas por pastoreo en tierras de protección con potencial minero | 2258.30 | 9.73 |
| 94 | | Zonas degradadas por pastoreo en tierras de protección con potencial minero y turístico | 327.50 | 1.41 |
| 95 | | Zonas degradadas por pastoreo en tierras de protección con potencial turístico | 3.98 | 0.02 |
| 98 | ZONAS DE APTITUD URBANO INDUSTRIAL | Zona de Expansión Urbano Industrial | 444.89 | 1.92 |
| 99 | | Zona de Ocupación Urbana | 1921.20 | 8.28 |
| 100 | ZONAS PRODUCTIVAS | Lagunas | 127.58 | 0.55 |
| 101 | | Rio | 33.92 | 0.15 |
| Área Total | | | 23206.87100.00 | |

Nota: Adaptado, *Zonificación ecológica y económica de la región Junín, 2015.*

El mapa de zonificación ecológica económica en la subcuenca Shullcas, codificado como: PL-18, grafica los elementos expuestos y se encuentra en el ítem Anexos.

4.3. Diagnostico multitemporal del glaciar Huaytapallana

4.3.1. Adquisición de imágenes satelitales

Para comenzar con el estudio se empleó las siguientes imágenes, que se descargaron del servidor de USGS – Servicio Geológico de EEUU, esta agencia científica es la que emplea las imágenes que capturo la constelación de satélites de teledetección Landsat a cargo de la NASA con sus diferentes sensores multiespectrales específicos.

Figura 35

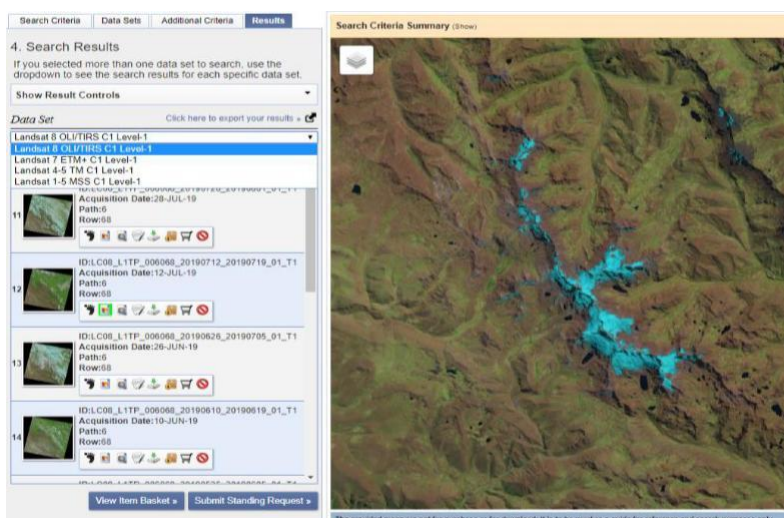
Servidor web de la USGS con archivos históricos de satélites de teledetección



Nota: *Elaboración propia, Imagen de usuario y ventana de exploración de imágenes.*

Figura 36

Galería de descarga de archivos de imágenes multiespectrales



Nota: *Elaboración propia, selección de satélite y explorador de imágenes cronológica.*

Tabla 38*Imágenes y sensores de satélites Landsat empleados en estudio*

| Ítem | Nombre | Sensor | Nivel | Ventana temporal | Nro. de Bandas |
|-------------|---------------|---------------|--------------|-------------------------|-----------------------|
| 1 | Landsat 8 | OLI/TIRS | 1 | 2013 - actualidad | 11 |
| 2 | Landsat 7 | ETM+ | 1 | 1999 - actualidad | 8 |
| 3 | Landsat 4 - 5 | TM | 1 | 1984 - 2013 | 7 |
| 4 | Landsat 1 - 5 | MSS | 1 | 1972 - 1993 | 4 |

Nota: Elaboración propia.**4.3.2. Proyección temporal de imágenes LandSat**

Luego se procedió a la selección de imágenes según nos recomienda el IGP para el análisis de coberturas glaciares en los andes tropicales por las siguientes características intrínsecas como: la nubosidad, la hora de captura de la imagen, el ruido de la imagen, el ángulo de captura entre otros, son criterios que se deberá de tener en cuenta, para procesar una imagen con alta fiabilidad de sus datos.

Tabla 39*Descripción y características de imágenes satelitales empleadas*

| Ítem | Año | Periodo de Adquisición | | Versión Landsat | Cuadrante Path/Row | Fuente |
|------|------|------------------------|----------|-----------------|-----------------------|-------------|
| | | Fecha | Hora | | | |
| 1 | 2019 | 2019-07-12 | 15:04:42 | LandSat 8 | 6 -68 | USGS - EEUU |
| 2 | 2018 | 2018-06-23 | 15:08:45 | LandSat 8 | 6 -68 | USGS - EEUU |
| 3 | 2017 | 2017-07-22 | 15:04:39 | LandSat 8 | 6 -68 | USGS - EEUU |
| 4 | 2016 | 2016-06-17 | 15:04:28 | LandSat 8 | 6 -68 | USGS - EEUU |
| 5 | 2015 | 2015-07-01 | 15:04:10 | LandSat 8 | 6 -68 | USGS - EEUU |
| 6 | 2014 | 2014-07-14 | 15:04:38 | LandSat 8 | 6 -68 | USGS - EEUU |
| 7 | 2013 | 2013-07-11 | 15:06:45 | LandSat 8 | 6 -68 | USGS - EEUU |
| 8 | 2012 | 2012-06-30 | 14:59:20 | LandSat 7 | 6 -68 | USGS - EEUU |
| 9 | 2011 | 2011-07-22 | 14:53:50 | LandSat 5 | 6 -68 | USGS - EEUU |
| 10 | 2010 | 2010-06-17 | 14:55:24 | LandSat 5 | 6 -68 | USGS - EEUU |
| 11 | 2009 | 2009-06-30 | 14:53:22 | LandSat 5 | 6 -68 | USGS - EEUU |
| 12 | 2008 | 2008-07-13 | 14:51:39 | LandSat 5 | 6 -68 | USGS - EEUU |
| 13 | 2007 | 2007-06-09 | 14:58:55 | LandSat 5 | 6 -68 | USGS - EEUU |
| 14 | 2006 | 2006-07-24 | 14:57:55 | LandSat 5 | 6 -68 | USGS - EEUU |
| 15 | 2005 | 2005-06-19 | 14:52:20 | LandSat 5 | 6 -68 | USGS - EEUU |
| 16 | 2004 | 2004-06-16 | 14:46:14 | LandSat 5 | 6 -68 | USGS - EEUU |
| 17 | 2003 | 2003-07-16 | 14:41:12 | LandSat 5 | 6 -68 | USGS - EEUU |
| 18 | 2002 | 2002-06-19 | 14:53:15 | LandSat 7 | 6 -68 | USGS - EEUU |
| 19 | 2001 | 2001-06-24 | 14:45:07 | LandSat 5 | 6 -68 | USGS - EEUU |
| 20 | 2000 | 2000-06-21 | 14:41:16 | LandSat 5 | 6 -68 | USGS - EEUU |
| 21 | 1999 | 1999-08-06 | 14:42:27 | LandSat 5 | 6 -68 | USGS - EEUU |
| 22 | 1998 | 1998-07-02 | 14:42:52 | LandSat 5 | 6 -68 | USGS - EEUU |
| 23 | 1997 | 1997-07-15 | 14:35:15 | LandSat 5 | 6 -68 | USGS - EEUU |
| 24 | 1996 | 1996-06-26 | 14:18:11 | LandSat 5 | 6 -68 | USGS - EEUU |
| 25 | 1995 | 1995-06-08 | 14:11:14 | LandSat 5 | 6 -68 | USGS - EEUU |
| 26 | 1994 | 1994-06-21 | 14:23:33 | LandSat 5 | 6 -68 | USGS - EEUU |
| 27 | 1993 | 1993-08-05 | 13:47:29 | LandSat 5 | 6 -68 | USGS - EEUU |
| 28 | 1992 | 1992-08-02 | 14:27:32 | LandSat 5 | 6 -68 | USGS - EEUU |
| 29 | 1991 | 1991-06-13 | 14:27:32 | LandSat 5 | 6 -68 | USGS - EEUU |
| 30 | 1990 | 1990-08-13 | 14:24:40 | LandSat 5 | 6 -68 | USGS - EEUU |
| 31 | 1989 | 1989-06-23 | 14:32:31 | LandSat 5 | 6 -68 | USGS - EEUU |
| 32 | 1988 | 1988-06-20 | 14:35:22 | LandSat 5 | 6 -68 | USGS - EEUU |
| 33 | 1987 | 1987-08-21 | 14:30:59 | LandSat 5 | 6 -68 | USGS - EEUU |
| 34 | 1986 | 1986-08-02 | 14:26:53 | LandSat 5 | 6 -68 | USGS - EEUU |
| 35 | 1985 | 1985-06-12 | 14:34:52 | LandSat 5 | 6 -68 | USGS - EEUU |
| 36 | 1984 | 1984-08-12 | 14:34:27 | LandSat 5 | 6 -68 | USGS - EEUU |

Nota: Propia. Se procedió con el análisis de 36 años de observación del glaciar

4.3.3. Procesos correctivos informáticos de las imágenes multiespectrales

Los procesos se realizarán en el software especializado en imágenes satelitales ENVI

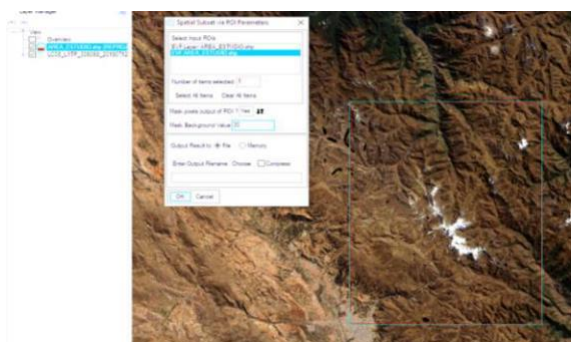
5.3 y finalmente las integraciones de procesos de información geográfica se harán en el

ArcGIS 10.6, que se detallara de manera.

- a. Selección del área de interés y recorte, está realizado en software ENVI y se utilizara un archivo .shp que contiene el vector del área de interés para ser gestionada con la herramienta Spatial Subset, y aquí elegiremos el archivo que contiene las bandas multiespectrales, como denota el siguiente gráfico.

Figura 37

Recorte de área de interés en bandas de imágenes multiespectrales

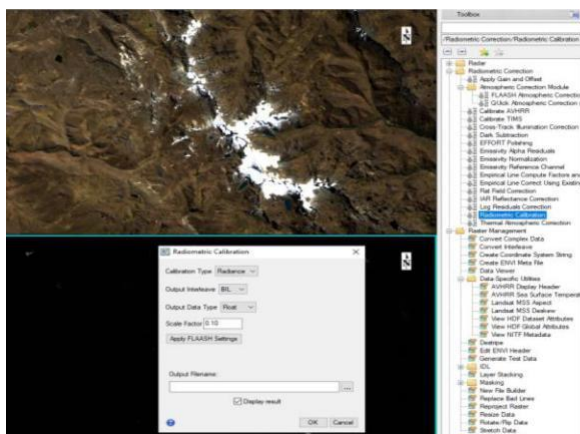


Nota: *Elaboración propia. El trabajo de procesamiento se realizó en el software ENVI 5.3.*

- b. Georreferenciar Imagen, se realizará la georreferenciación mediante los puntos de control y pasando a las unidades métricas del sistema UTM - WGS-84, Zona 18 S.
- c. Calibración Radiométrica, se realizará mediante la conversión de los valores de a imagen a valores digitales mediante la herramienta *radiometric calibration*.

Figura 38

Calibración radiométrica de una imagen multiespectral

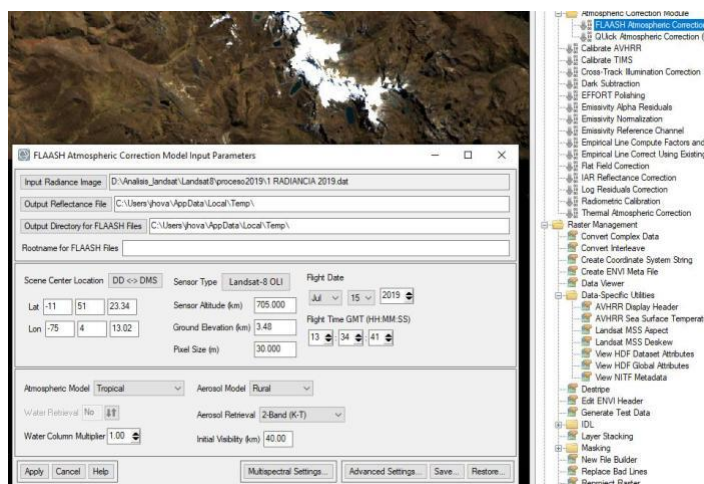


Nota: Se hace uso de la herramienta “Radiometric Calibration” en el software ENVI 5.3.

- d. Corrección Atmosférica, se realizará la corrección atmosférica utilizando como referencia al archivo generado por la calibración radiométrica con la herramienta FLAASH Atmospheric Correction, donde añadiremos parámetros muy importantes como datos de la fecha y hora de adquisición, altura de la órbita, altitud geográfica promedio del área de interés, lugar y tipo de lugar, entre otros.

Figura 39

La corrección atmosférica y sus diversos factores



Nota: Se suele considerar la fecha de toma de la imagen, ubicación, altitud entre otros.

- e. Estandarización de Valores de la Corrección Atmosférica, se realizará mediante un proceso de algoritmos matemáticos donde utilizaremos la formula “ $(B1 \leq 0) * 0 + (B1 \geq 10000) * 1 + (B1 > 0 \text{ AND } B1 < 10000) * \text{FLOAT}(B1) / 10000$ ”, donde B1 es el conjunto de bandas, nos ayudara a normalizar todos los valores de 0 a 1.
- f. Cálculo del Índice Diferenciado de Nieve. Se realizará mediante la aplicación de la herramienta Espectral Índices del Envi, el cual nos ayudará a discriminar la nieve y hielo de otras coberturas y se utiliza para generar la ecuación las siguientes longitudes de 0.66 y 1.6 mm.

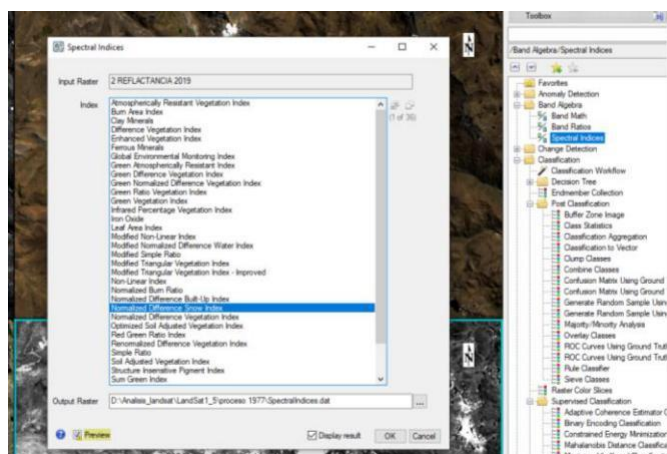
$$= \frac{0.66 - 0.61}{0.66 - 0.61} \times \frac{0.66 - 0.61}{0.66 - 0.61} + \frac{0.66 - 0.61}{0.66 - 0.61} \times \frac{0.66 - 0.61}{0.66 - 0.61}$$

Ecuación 21

Nota: La banda 2: Parte visible verde del espectro (0.53-0.61) um y la banda 5 es infrarrojo de onda corta (1.55 – 1.75) um.

Figura 40

Galería de índices espectrales de imágenes multispectrales

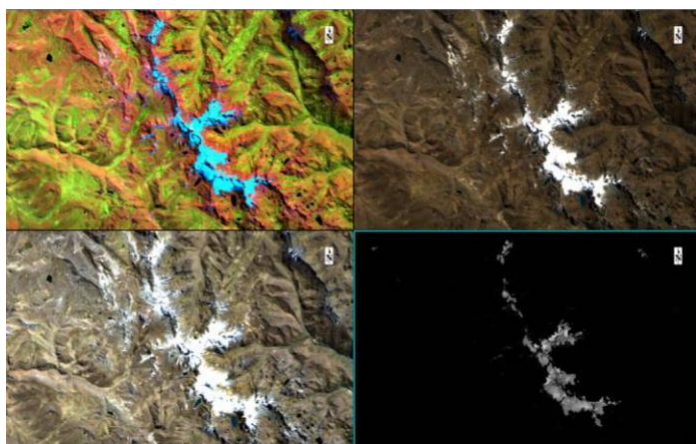


Nota: *Elaboración propia, Galería de índices espectrales del software ENVI 5.3.*

Toda imagen debe someterse a estas correcciones antes de realizar los cálculos de radiancia y estimación de áreas: Imagen superior izquierda: Imagen en falso color 752, imagen superior: corrección radiométrica, imagen inferior izquierda: corrección atmosférica y la imagen inferior derecha: imagen con aplicación de índice NDSI.

Figura 41

Imágenes que tienen correcciones de sus números digitales



Nota: *Elaboración propia.*

- a. Cálculo y vectorización de la cobertura glaciar, se seleccionará los valores que indica la escala del NDSI (Hall et al. 2002). El valor debe ser mayor a 0.4, que determinan según la literatura a la superficie nival.

4.3.4. Cuantificación de la cobertura glaciar

Tabla 40

Resultado de proceso de cálculo de cobertura glaciar

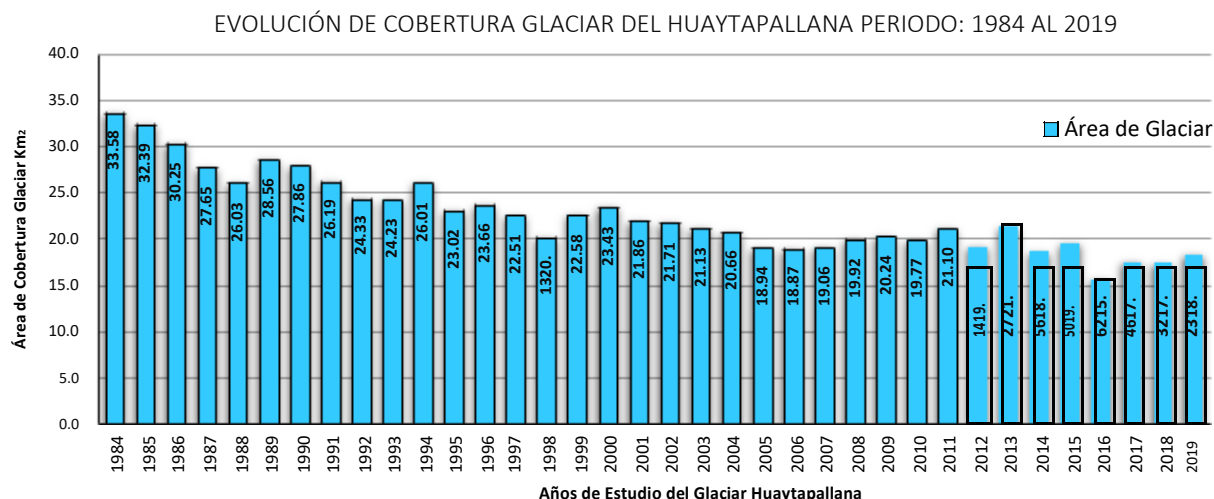
| Ítem | Año | Periodo de Adquisición | | Sensor Landsat | Perímetro Km | Área Km ² |
|------|------|------------------------|----------|----------------|--------------|----------------------|
| | | Fecha | Hora | | | |
| 1 | 2019 | 2019-07-12 | 15:04:42 | OLI/TIRS | 163.50 | 18.23 |
| 2 | 2018 | 2018-06-23 | 15:08:45 | OLI/TIRS | 156.94 | 17.32 |
| 3 | 2017 | 2017-07-22 | 15:04:39 | OLI/TIRS | 135.96 | 17.46 |
| 4 | 2016 | 2016-06-17 | 15:04:28 | OLI/TIRS | 131.22 | 15.62 |
| 5 | 2015 | 2015-07-01 | 15:04:10 | OLI/TIRS | 142.38 | 19.50 |
| 6 | 2014 | 2014-07-14 | 15:04:38 | OLI/TIRS | 141.90 | 18.56 |
| 7 | 2013 | 2013-07-11 | 15:06:45 | OLI/TIRS | 163.08 | 21.27 |
| 8 | 2012 | 2012-06-30 | 14:59:20 | ETM+ | 148.92 | 19.14 |
| 9 | 2011 | 2011-07-22 | 14:53:50 | TM | 200.04 | 21.10 |
| 10 | 2010 | 2010-06-17 | 14:55:24 | TM | 135.66 | 19.77 |
| 11 | 2009 | 2009-06-30 | 14:53:22 | TM | 136.14 | 20.24 |
| 12 | 2008 | 2008-07-13 | 14:51:39 | TM | 147.85 | 19.92 |
| 13 | 2007 | 2007-06-09 | 14:58:55 | TM | 136.86 | 19.06 |
| 14 | 2006 | 2006-07-24 | 14:57:55 | TM | 146.88 | 18.87 |
| 15 | 2005 | 2005-06-19 | 14:52:20 | TM | 155.52 | 18.94 |
| 16 | 2004 | 2004-06-16 | 14:46:14 | TM | 150.54 | 20.66 |
| 17 | 2003 | 2003-07-16 | 14:41:12 | TM | 152.34 | 21.13 |
| 18 | 2002 | 2002-06-19 | 14:53:15 | ETM+ | 148.08 | 21.71 |
| 19 | 2001 | 2001-06-24 | 14:45:07 | TM | 160.56 | 21.86 |
| 20 | 2000 | 2000-06-21 | 14:41:16 | TM | 161.10 | 23.43 |
| 21 | 1999 | 1999-08-06 | 14:42:27 | TM | 157.14 | 22.58 |
| 22 | 1998 | 1998-07-02 | 14:42:52 | TM | 166.92 | 20.13 |
| 23 | 1997 | 1997-07-15 | 14:35:15 | TM | 164.65 | 22.51 |
| 24 | 1996 | 1996-06-26 | 14:18:11 | TM | 163.56 | 23.66 |
| 25 | 1995 | 1995-06-08 | 14:11:14 | TM | 164.09 | 23.02 |
| 26 | 1994 | 1994-06-21 | 14:23:33 | TM | 146.04 | 26.01 |
| 27 | 1993 | 1993-08-05 | 13:47:29 | TM | 169.52 | 24.23 |
| 28 | 1992 | 1992-08-02 | 14:27:32 | TM | 167.56 | 24.33 |
| 29 | 1991 | 1991-06-13 | 14:27:32 | TM | 154.64 | 26.19 |
| 30 | 1990 | 1990-08-13 | 14:24:40 | TM | 183.14 | 27.86 |
| 31 | 1989 | 1989-06-23 | 14:32:31 | TM | 185.61 | 28.56 |
| 32 | 1988 | 1988-06-20 | 14:35:22 | TM | 158.87 | 26.03 |
| 33 | 1987 | 1987-08-21 | 14:30:59 | TM | 168.45 | 27.65 |
| 34 | 1986 | 1986-08-02 | 14:26:53 | TM | 152.65 | 30.25 |
| 35 | 1985 | 1985-06-12 | 14:34:52 | MSS | 197.76 | 32.39 |
| 36 | 1984 | 1984-08-12 | 14:34:27 | MSS | 214.96 | 33.58 |

Nota: *Elaboración propia. La descripción de las características técnicas de la imagen multiespectral evaluada y su cantidad de cobertura glaciar según el cálculo del software ENVI 5.3.*

Por lo tanto, se buscará conocer mediante una gráfica cómo se evoluciona en el tiempo la cobertura del glaciar en los años evaluados.

Gráfica 1

Evolución de la cobertura glaciar del Huaytapallana en el periodo: 1984 al 2019.



Nota: Elaboración propia.

4.3.5. Correlación temporal de la cobertura glaciar

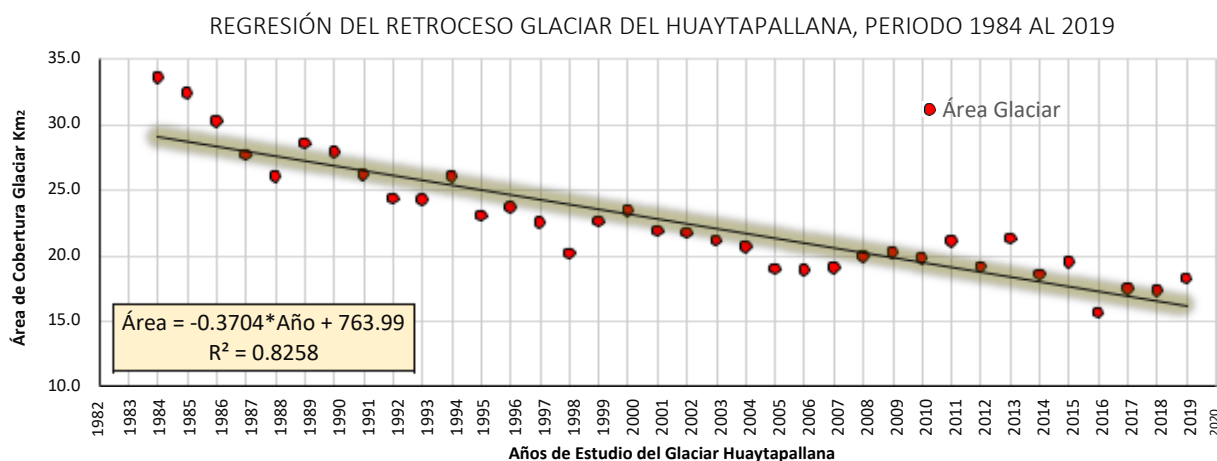
Mediante la correlación de las áreas del glaciar se busca el modelo numérico empírico para el retroceso de la cobertura del Huaytapallana.

$$= -0.3704 * \text{ñ} + 763.99$$

Ecuación 22

Gráfica 2

Regresión del retroceso del glaciar Huaytapallana en el periodo 1984 al 2019



Nota: Elaboración propia.

4.3.6. Cálculo de tasa de cambio y retroceso del glaciar

Tabla 41

Cálculo de la tasa de cambio (TC) y tasa de retroceso (TR%) del glaciar Huaytapallana

| Ítem | Año | Área Km ² | Área Km ² Generada | Error % | Tasa Cambio % | Tasa de Retroceso Glaciar (Km ² /año) |
|--|------|----------------------|----------------------------------|---------|------------------|---|
| 1 | 2019 | 18.23 | 16.15 | 11.42 | --- | --- |
| 2 | 2018 | 17.32 | 16.52 | 4.60 | -2.73 | -0.91 |
| 3 | 2017 | 17.46 | 16.89 | 3.25 | 0.42 | 0.14 |
| 4 | 2016 | 15.62 | 17.26 | -10.50 | -5.48 | -1.84 |
| 5 | 2015 | 19.50 | 17.63 | 9.56 | 11.57 | 3.88 |
| 6 | 2014 | 18.56 | 18.00 | 3.01 | -2.79 | -0.94 |
| 7 | 2013 | 21.27 | 18.37 | 13.61 | 8.08 | 2.71 |
| 8 | 2012 | 19.14 | 18.75 | 2.06 | -6.36 | -2.13 |
| 9 | 2011 | 21.10 | 19.12 | 9.40 | 5.85 | 1.96 |
| 10 | 2010 | 19.77 | 19.49 | 1.43 | -3.97 | -1.33 |
| 11 | 2009 | 20.24 | 19.86 | 1.87 | 1.39 | 0.47 |
| 12 | 2008 | 19.92 | 20.23 | -1.53 | -0.94 | -0.31 |
| 13 | 2007 | 19.06 | 20.60 | -8.08 | -2.58 | -0.86 |
| 14 | 2006 | 18.87 | 20.97 | -11.12 | -0.56 | -0.19 |
| 15 | 2005 | 18.94 | 21.34 | -12.68 | 0.20 | 0.07 |
| 16 | 2004 | 20.66 | 21.71 | -5.09 | 5.13 | 1.72 |
| 17 | 2003 | 21.13 | 22.08 | -4.48 | 1.42 | 0.47 |
| 18 | 2002 | 21.71 | 22.45 | -3.38 | 1.74 | 0.58 |
| 19 | 2001 | 21.86 | 22.82 | -4.41 | 0.42 | 0.14 |
| 20 | 2000 | 23.43 | 23.19 | 1.03 | 4.70 | 1.57 |
| 21 | 1999 | 22.58 | 23.56 | -4.33 | -2.53 | -0.85 |
| 22 | 1998 | 20.13 | 23.93 | -18.90 | -7.33 | -2.45 |
| 23 | 1997 | 22.51 | 24.30 | -7.97 | 7.10 | 2.38 |
| 24 | 1996 | 23.66 | 24.67 | -4.26 | 3.45 | 1.16 |
| 25 | 1995 | 23.02 | 25.04 | -8.77 | -1.91 | -0.64 |
| 26 | 1994 | 26.01 | 25.41 | 2.30 | 8.92 | 2.99 |
| 27 | 1993 | 24.23 | 25.78 | -6.42 | -5.33 | -1.78 |
| 28 | 1992 | 24.33 | 26.15 | -7.48 | 0.32 | 0.11 |
| 29 | 1991 | 26.19 | 26.52 | -1.28 | 5.54 | 1.86 |
| 30 | 1990 | 27.86 | 26.89 | 3.47 | 4.99 | 1.67 |
| 31 | 1989 | 28.56 | 27.26 | 4.54 | 2.09 | 0.70 |
| 32 | 1988 | 26.03 | 27.63 | -6.18 | -7.57 | -2.53 |
| 33 | 1987 | 27.65 | 28.01 | -1.28 | 4.86 | 1.63 |
| 34 | 1986 | 30.25 | 28.38 | 6.21 | 7.77 | 2.60 |
| 35 | 1985 | 32.39 | 28.75 | 11.25 | 6.37 | 2.13 |
| 36 | 1984 | 33.58 | 29.12 | 13.29 | 3.55 | 1.19 |
| Tasa de Cambio y Tasa de Retroceso del Glaciar en 36 años de seguimiento | | | | | | 0.438 |

Nota: *Elaboración propia.*

Se realizará la tasa de cambio de mediante la ecuación adoptada de Colonia & Torres (2011).

$$T_c = \frac{1}{t} \left(\frac{A_2}{A_1} - 1 \right) \quad \text{Ecuación 23}$$

Donde T_c es la tasa de cambio promedio anual, A_1 es el área glaciario del año de mayor antigüedad, A_2 es el área glaciario del año más reciente, t es el número de años transcurridos entre las imágenes utilizadas.

$$= 100 \cdot \left(\frac{18.23}{33.58} - 1 \right) = -1.73\%$$

Entonces decimos que la cobertura del nevado Huaytapallana se reduce con una tasa de 1.73% anualmente.

Ahora calculamos la tasa de retroceso del glaciario mediante la fórmula:

$$= \frac{(A_1 - A_2)}{t} \quad \text{Ecuación 24}$$

Reemplazando los valores se tiene la tasa anual de retroceso de la siguiente forma.

$$= \frac{(33.58 - 18.23)}{35} = 0.438 \text{ Km}^2/\text{año}$$

El retroceso de la cobertura del glaciario presenta la tasa de retroceso anual de 0.438 Km²/año.

4.4. Parámetros hidrológicos de la subcuenca Shullcas

4.4.1. Parámetros de forma

a. Área de la Cuenca (A)

La subcuenca del Shullcas tiene un área de 232.073 Km² que se clasifica según Campos, (1992) como una cuenca pequeña, por tener un área menor a 250 Km².

b. Perímetro de la Cuenca (P)

La subcuenca Shullcas tiene un perímetro de 83.364 Km.

c. Centro de Gravedad (CG)

El centro de gravedad de la subcuenca Shullcas en la proyección UTM es: E: 486745 y N: 8674188.

d. Longitud del río principal (L_c)

El cauce principal o el río Shullcas presenta una longitud de 34.793 Km.

e. Ancho medio de la cuenca (A_p)

Se formula a partir de la división del área de la cuenca (A) y ancho promedio de varias secciones de la cuenca.

$$= \frac{232.073}{27.350} = 8.362$$

Donde: A_p; Ancho medio de la cuenca, A= Área de la cuenca en Km², L_m= Ancho medio de secciones de la cuenca Km.

Entonces el ancho medio de la subcuenca Shullcas es de: 8.362 Km.

f. Factor de Forma de la Cuenca (F_f): En la subcuenca del Shullcas utilizaremos tres indicadores para descarga de la corriente en eventos de flujo máximo.

- Índice de Horton (R_f). El factor adimensional en la subcuenca Shullcas es 0.192. Esto denota que su escurrimiento es moderado y su hidrograma en función al caudal de salida es central. (Horton R. E., 1932).

$$= \frac{232.073}{34.793^2} = 0.192$$

- Índice de Gravelius o Compacidad (IC). El índice de Gravelius es de 1.532, lo clasifica como cuenca de forma oval.

$$= 0.282 * \frac{83.364}{\sqrt{232.073}} = 0.282 * \frac{83.364}{15.234} = 1.543$$

- Relación de Elongación (Re). El índice de Elongación de la subcuenca del Shullcas es medianamente oval cuando la circunferencia es un valor cercano a 1. (Shumm,1956).

$$= 1.1284 * \frac{\sqrt{232.073}}{34.793} = 1.1284 * \frac{15.234}{34.793} = 0.494$$

- g. Rectángulo Equivalente (RE_q): Es una transformación geométrica que representa a la cuenca, de forma heterogénea con la forma de un rectángulo.

$$L = \frac{P}{4} = \frac{136.79}{4} = 34.1975$$

$$l = \frac{4A}{P} = \frac{4 * 232.073}{136.79} = 6.78$$

L y l = Lado mayor y lado menor del rectángulo equivalente en Km, respectivamente, P= Perímetro de la cuenca en Km, A= Área de la cuenca en Km².

$$L = \frac{136.79}{4} = 34.1975$$

$$l = \frac{4 * 232.073}{136.79} = 6.78$$

En la cuenca Shullcas se encontró el lado mayor de L= 35.063 Km y lado menor de: l= 6.618 Km.

- h. Radio de Circularidad (R_c): Es la razón entre el área del círculo y el área de un círculo con igual perímetro a la cuenca en estudio.

$$= \frac{232.073}{0.0419} = 55387.59$$

4.4.2. Parámetros de relieve

- a. Curva hipsométrica: En la subcuenca del Shullcas se representó gráficamente cotas del terreno en función a las superficies parciales que encierran.

La edad de la subcuenca Shullcas está clasificada en su fase de madurez, lo que nos indica que es una cuenca en equilibrio erosivo, según el gráfico de la curva hipsométrica.

Tabla 42

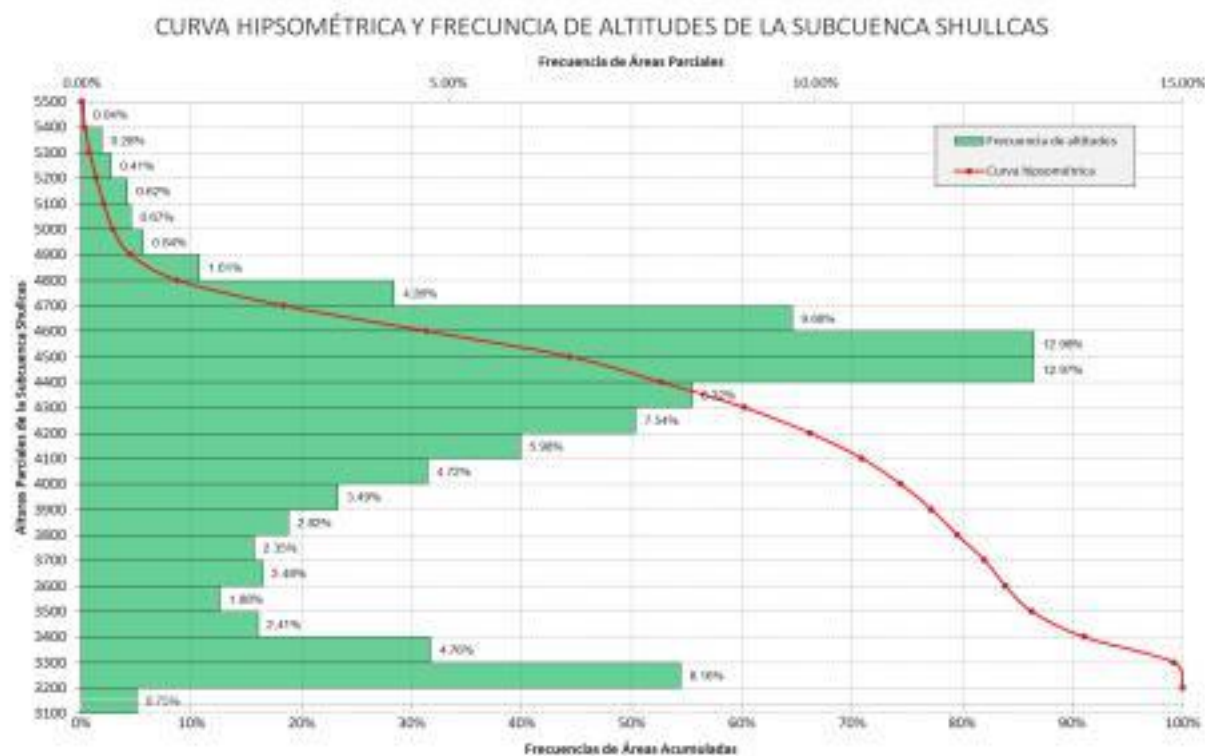
Curva hipsométrica y frecuencia de altitudes

| Ítem | Cotas m.s.n.m | | | Áreas Km ² | | Porcentaje Áreas | |
|--------------|---------------|----------|-------|-----------------------|-----------|------------------|-------------|
| | Inferior | Superior | Media | Parcial | Acumulado | Parcial % | Acumulado % |
| 1 | 3140 | 3200 | 3170 | 1.742 | 1.742 | 0.75% | 0.75% |
| 2 | 3200 | 3300 | 3250 | 18.932 | 20.674 | 8.16% | 8.90% |
| 3 | 3300 | 3400 | 3350 | 11.046 | 31.720 | 4.76% | 13.66% |
| 4 | 3400 | 3500 | 3450 | 5.584 | 37.304 | 2.41% | 16.07% |
| 5 | 3500 | 3600 | 3550 | 4.373 | 41.677 | 1.88% | 17.95% |
| 6 | 3600 | 3700 | 3650 | 5.744 | 47.421 | 2.48% | 20.43% |
| 7 | 3700 | 3800 | 3750 | 5.453 | 52.874 | 2.35% | 22.78% |
| 8 | 3800 | 3900 | 3850 | 6.535 | 59.409 | 2.82% | 25.59% |
| 9 | 3900 | 4000 | 3950 | 8.097 | 67.505 | 3.49% | 29.08% |
| 10 | 4000 | 4100 | 4050 | 10.948 | 78.453 | 4.72% | 33.80% |
| 11 | 4100 | 4200 | 4150 | 13.873 | 92.326 | 5.98% | 39.78% |
| 12 | 4200 | 4300 | 4250 | 17.501 | 109.827 | 7.54% | 47.32% |
| 13 | 4300 | 4400 | 4350 | 19.310 | 129.137 | 8.32% | 55.64% |
| 14 | 4400 | 4500 | 4450 | 30.098 | 159.235 | 12.97% | 68.61% |
| 15 | 4500 | 4600 | 4550 | 30.113 | 189.348 | 12.98% | 81.59% |
| 16 | 4600 | 4700 | 4650 | 22.471 | 211.820 | 9.68% | 91.27% |
| 17 | 4700 | 4800 | 4750 | 9.878 | 221.698 | 4.26% | 95.52% |
| 18 | 4800 | 4900 | 4850 | 3.727 | 225.425 | 1.61% | 97.13% |
| 19 | 4900 | 5000 | 4950 | 1.951 | 227.376 | 0.84% | 97.97% |
| 20 | 5000 | 5100 | 5050 | 1.564 | 228.940 | 0.67% | 98.65% |
| 21 | 5100 | 5200 | 5150 | 1.450 | 230.390 | 0.62% | 99.27% |
| 22 | 5200 | 5300 | 5250 | 0.944 | 231.334 | 0.41% | 99.68% |
| 23 | 5300 | 5400 | 5350 | 0.649 | 231.983 | 0.28% | 99.96% |
| 24 | 5400 | 5550 | 5450 | 0.090 | 232.073 | 0.04% | 100.00% |
| TOTAL | | | | 232.073 | | 100.00% | |

Nota: *Elaboración propia.*

Gráfica 3

Curva hipsométrica y frecuencia de altitudes de la subcuenca Shullcas



Nota: Elaboración propia.

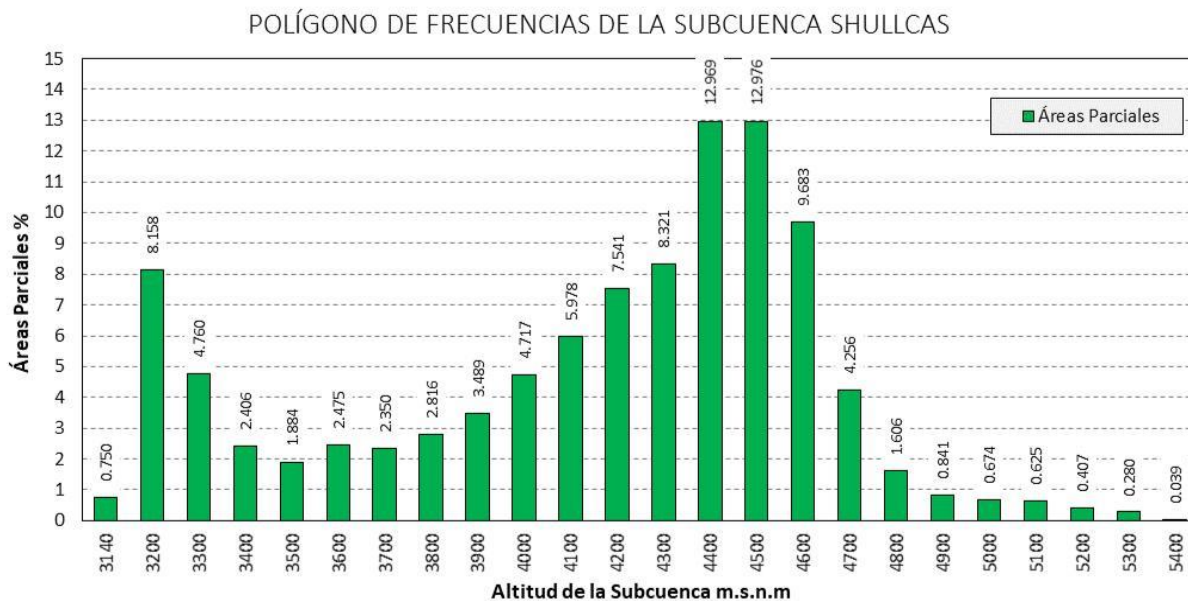
En el gráfico estadístico muestra que la mayor concentración de superficie de la cuenca está en los intervalos de 4100 a 4700 msnm, la parte baja de la cuenca donde se encuentra la ciudad de Huancayo solo representa el 8.16% del total del área de la cuenca.

- b. Polígono de Frecuencias: En el polígono de frecuencias existen valores representativos como: la altitud más frecuente, que es el polígono de mayor porcentaje o frecuencia. La subcuenca Shullcas concentra 52.68% de su área hasta los 4250 msnm, lo que deduce que aproximadamente la otra mitad de la cuenca es altoandina y contiene la mayor cantidad de precipitación.

El mapa de alturas parciales de la subcuenca Shullcas, codificado como: PL-04, grafica la distribución de elementos y se encuentra en el ítem Anexos.

Gráfica 4

Polígono de frecuencias de la subcuenca Shullcas



Nota: *Elaboración propia.*

c. **Altitud media de la cuenca (Hm)**

La altura o elevación media tiene importancia principalmente en zonas montañosas donde influye en el escurrimiento y en otros elementos que también afectan el régimen hidrológico, como el tipo de precipitación, la temperatura, etc. Para obtener la elevación media se aplica un método basado en la siguiente fórmula:

$$= \frac{\sum h_i \cdot A_i}{\sum A_i} \tag{Ecuación 25}$$

Donde el numerador significa la sumatoria de la altura media parcial multiplicada por las áreas parciales divididos entre el área de la cuenca.

$$= \frac{\sum h_i \cdot A_i}{\sum A_i} = \frac{972073.61}{23273} = 4188.64$$

La altura media de la subcuenca Shullcas resulta 4188.64 msnm.

Tabla 43*Distribución de la altura media de la subcuenca Shullcas*

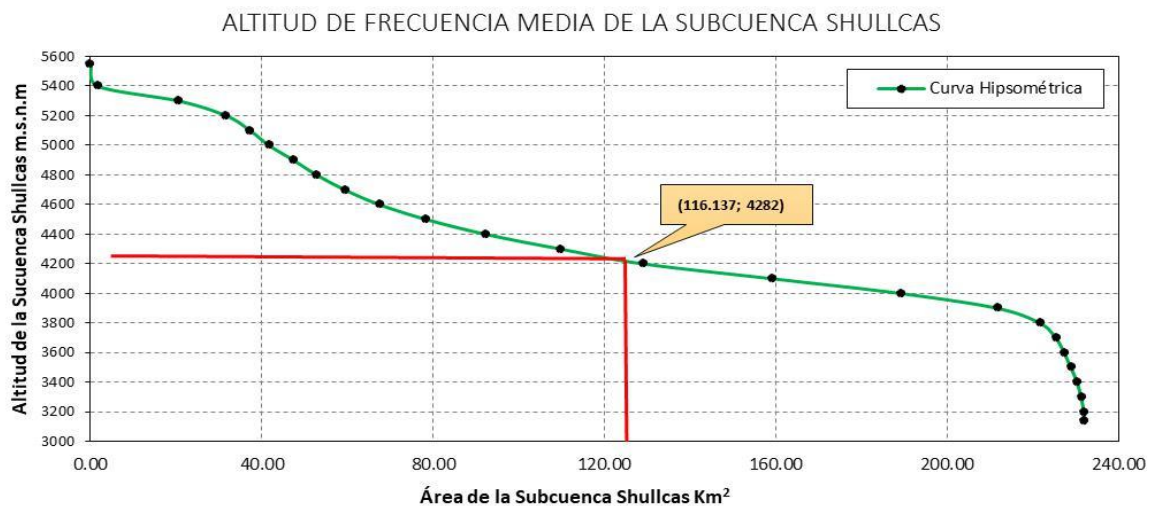
| Ítem | Cotas m.s.n.m | | Áreas km ² | |
|---------------------------------------|---------------|-----------|-----------------------|------------------|
| | Intervalo (a) | Media (b) | Parcial (c) | b * c |
| 1 | 3140 - 3200 | 3170 | 1.742 | 5522.1 |
| 2 | 3200 - 3300 | 3250 | 18.932 | 61529.0 |
| 3 | 3300 - 3400 | 3350 | 11.046 | 37004.1 |
| 4 | 3400 - 3500 | 3450 | 5.584 | 19264.8 |
| 5 | 3500 - 3600 | 3550 | 4.373 | 15524.1 |
| 6 | 3600 - 3700 | 3650 | 5.744 | 20965.6 |
| 7 | 3700 - 3800 | 3750 | 5.453 | 20448.7 |
| 8 | 3800 - 3900 | 3850 | 6.535 | 25159.7 |
| 9 | 3900 - 4000 | 3950 | 8.097 | 31983.1 |
| 10 | 4000 - 4100 | 4050 | 10.948 | 44339.4 |
| 11 | 4100 - 4200 | 4150 | 13.873 | 57572.9 |
| 12 | 4200 - 4300 | 4250 | 17.501 | 74379.2 |
| 13 | 4300 - 4400 | 4350 | 19.31 | 83998.5 |
| 14 | 4400 - 4500 | 4450 | 30.098 | 133936.1 |
| 15 | 4500 - 4600 | 4550 | 30.113 | 137014.1 |
| 16 | 4600 - 4700 | 4650 | 22.471 | 104490.1 |
| 17 | 4700 - 4800 | 4750 | 9.878 | 46920.5 |
| 18 | 4800 - 4900 | 4850 | 3.727 | 18075.9 |
| 19 | 4900 - 5000 | 4950 | 1.951 | 9657.4 |
| 20 | 5000 - 5100 | 5050 | 1.564 | 7898.2 |
| 21 | 5100 - 5200 | 5150 | 1.450 | 7467.5 |
| 22 | 5200 - 5300 | 5250 | 0.944 | 4956 |
| 23 | 5300 - 5400 | 5350 | 0.649 | 3472.1 |
| 24 | 5400 - 5500 | 5450 | 0.090 | 490.5 |
| TOTAL | | | 232.073 | 972070.19 |
| Altura Media de la Subcuenca Shullcas | | | | 4188.64 |

Nota: *Elaboración propia.*

d. Altitud de frecuencia media.

Gráfica 5

Altitud de frecuencia media de la subcuenca Shullcas



Nota: *Elaboración propia.*

e. Altitud más frecuente

Es la altitud predominante con mayor porcentaje de área de la cuenca, para la subcuenca del río Shullcas la altitud predominante se encuentra entre el intervalo de las cotas de 4400 a 4600 msnm, es donde se tiene un área de 25.95% del total de la subcuenca.

f. Pendiente media de la cuenca

El parámetro de relieve es importante por a su relación con el comportamiento hidráulico de drenaje de la cuenca, y tiene una importancia directa en relación a la magnitud de las crecidas. Para su estimación se emplea el sistema del “Rectángulo Equivalente”.

Pendiente media de la cuenca Shullcas se realizó mediante la metodología del software ArcMap 1.6, donde mediante un modelo digital de terreno MDT de la constelación de satélites ASTER GDEM versión 2. Se carga el ráster y se procesa

con la herramienta SLOPE en cual me dará un mapa de pendientes que se deberá interpolar con la herramienta INTERPOLATE SHAPE para luego combinarlo con la herramienta ZONAL STATISTICS AS TABLE y me muestra los valores estadísticos de la subcuenca, donde la pendiente media es 31.649%.

Figura 42

Cálculo de la pendiente media asistido por ArcGis

| OBJECTID * | OBJECTID_1 | COUNT | AREA | MIN | MAX | RANGE | MEAN | STD | SUM |
|------------|------------|--------|---------|-----|-----------|-----------|----------|----------|---------------|
| 1 | 1 | 245611 | 0.01895 | 0 | 213.58747 | 213.58747 | 31.64883 | 22.36977 | 7773252.81657 |

Nota: *Elaboración propia.*

g. Coeficiente de Masividad (Cm)

Se denomina a la relación entre la altura media y el área de la cuenca, su resultado es alto cuando se trata de cumbres altas y bajo en cuencas donde predominan terrenos planos.

$$= \frac{\text{Altura Media}}{\text{Área}} \quad \text{Ecuación 26}$$

$$= \frac{4188.64}{232.073} = 18.048$$

h. Coeficiente Orográfico o de Fournier (Co)

Es un número adimensional que de acuerdo al francés Fournier, se puede definir el relieve de la cuenca en función a la erosión y su máxima valoración es 6 que define como una cuenca muy acentuada, cuando la cuenca es pequeña este valor es muy alto.

$$= \frac{\text{Altura Media}^2}{\text{Área}} \quad \text{Ecuación 27}$$

$$= \frac{4188.64^2}{232.073} = 75.599$$

i. Coeficiente de Torrencialidad (Ct)

El parámetro se da por la relación entre el número de cauces de agua de orden uno y el área de la cuenca. Este resultado me da un indicador que el agua recorre muy poco para dirigirse a los cauces y la velocidad de descarga es mayor. (Romero Días, 1987).

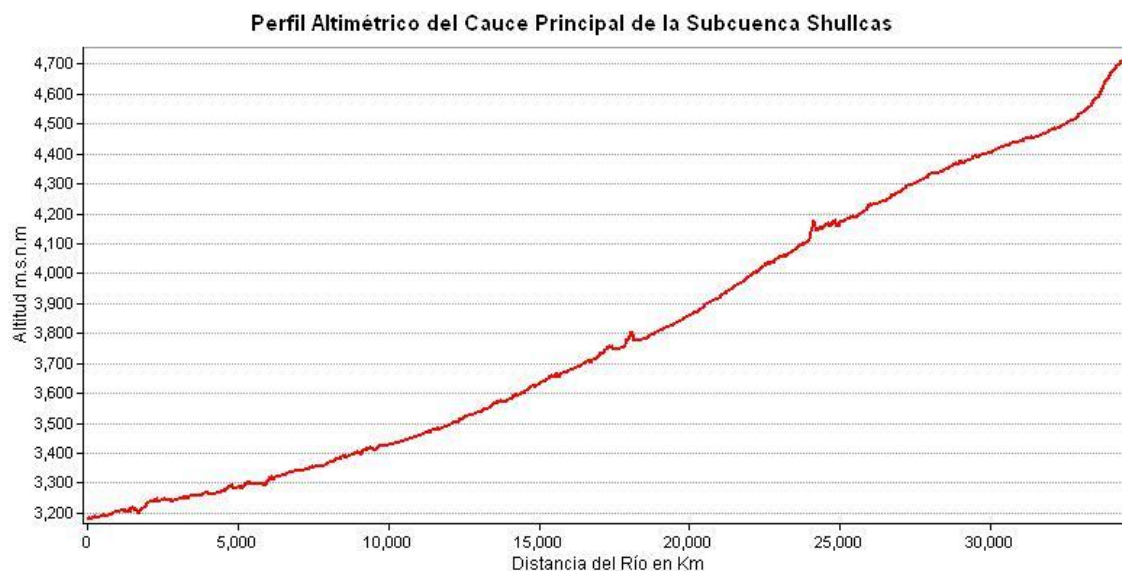
$$= \frac{1}{\dots} \quad \text{Ecuación 28}$$

$$= \frac{51}{232273} = 0.219$$

j. Perfil altimétrico del Cauce Principal.

Figura 43

Perfil altimétrico del cauce del río Shullcas



Nota: *Elaboración propia.*

4.4.3. *Parámetros de la red hidrográfica*

a. Tipo de Corriente

La corriente del río Shullcas es perenne en todo el año, por ser un cauce dependiente del glaciar Huaytapallana, su caudal es directamente proporcional a la precipitación en la Subcuenca presentando su máxima en febrero y su mínima en julio.

b. Numero de orden de los ríos (Fr)

En el Shullcas se encontró la siguiente descripción de ríos.

Tabla 44

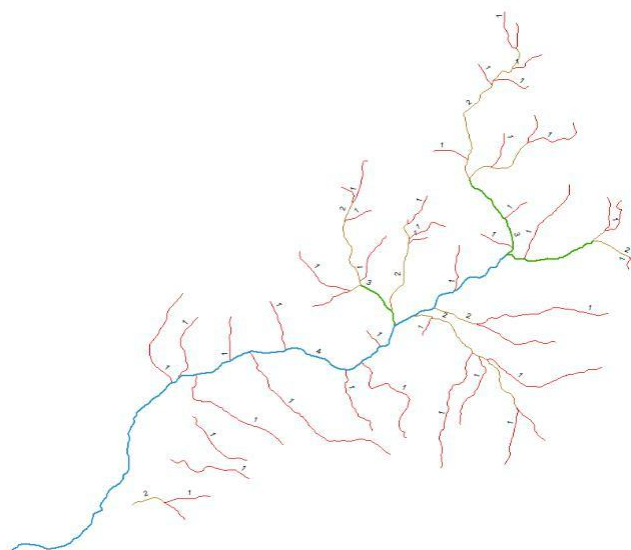
Descripción de ríos de la subcuenca Shullcas

| | Orden de río | # Ríos | Longitud Km |
|--------------|---------------------|---------------|--------------------|
| 1 | Orden 1 | 51 | 98.737 |
| 2 | Orden 2 | 22 | 26.428 |
| 3 | Orden 3 | 06 | 8.699 |
| 4 | Orden 4 | 11 | 23.723 |
| Total | | 90 | 157.587 |

Nota: *Elaboración propia.*

Figura 44

Esquema de orden de ríos de la subcuenca Shullcas



Nota: *Elaboración propia.*

c. Frecuencia de densidad de ríos (Fr)

Se conoce como el número de ríos por unidad de superficie de la cuenca.

$$Fr = \frac{N}{A}$$

90

Ecuación 29

d. Densidad de drenaje (Dd)

Es la relación entre la longitud total de los cursos de agua: perennes, intermitentes o efímeros de la cuenca y el área total de la misma. Se representa como la cantidad de longitud del curso en kilómetros por cada unidad de superficie de la cuenca.

$$= \frac{\text{---}}{157.587} \quad \text{Ecuación 30}$$

Según Monsalve S, G. (1999), la densidad de drenaje usualmente toma los valores siguientes:

Entre 0 a 0.5 Km/Km², para hoyas con drenaje pobre. A partir de 3.5 Km/Km², para hoyas excepcionalmente bien drenadas.

La densidad de drenaje de la subcuenca del río Shullcas es de 0.679 Km/Km², el cual es un indicador que presenta un drenaje regularmente moderado propenso a las crecientes.

e. Extensión media del escurrimiento superficial (E)

Es la relación entre el área de la cuenca y la longitud total de la red hídrica de la misma cuenca, o también como la distancia promedio en línea recta que el agua precipitada tendría que recorrer para llegar al lecho de un curso de agua.

$$= \frac{\text{---}}{232.073} \quad \text{Ecuación 31}$$

Para la subcuenca del río Shullcas, la extensión media del escurrimiento superficial es de 1.472 Km²/Km.

f. Pendiente media del río principal (Sm)

La velocidad de la escorrentía superficial de los cursos de agua depende de la pendiente de sus cauces fluviales; así a mayor pendiente habrá mayor velocidad de

escurrimiento. La pendiente media del río es un parámetro empleado para determinar la declividad de una corriente de agua entre dos puntos extremos.

$$= \frac{(-)}{1000 \cdot}$$

$$= \frac{4778 - 3184}{1000 + 34.793} = 0.046$$

Ecuación 32

La pendiente media del río Shullcas es de 0.046.

g. Altura media del Río Principal (Hmed).

$$= \frac{(+)}{2}$$

$$= \frac{4778 + 3184}{2} = 3981$$

Ecuación 33

La altura media del cauce principal del río Shullcas es de 3981 msnm.

h. Tiempo de Concentración (Tc)

Este parámetro hace referencia al tiempo que tarda el agua en su recorrido entre dos puntos determinados, los cuales son: en extremo superior de la cuenca y el punto donde se mide el flujo.

Para el cálculo del tiempo de concentración existen numerosas fórmulas empíricas, para el presente se ha utilizado la fórmula de Kirpich, cuya ecuación es la siguiente:

$$= 0.0195 \cdot \frac{\text{ms}}{\text{ms}}$$

$$= 0.0195 \cdot \frac{31.6490385}{34.79377} = 0.981$$

Ecuación 34

El tiempo de concentración de la subcuenca Shullcas es de 0.981 horas.

4.4.4. Resumen de parámetros

Tabla 45

Resumen de parámetros hidrológicos de la subcuenca Shullcas

| Descripción | Símbolo | Formula | Unidad | Valor |
|---|------------------|--------------------------------|----------------------|----------|
| A: PARÁMETROS DE FORMA | | | | |
| Área de la cuenca | A | | Km ² | 232.073 |
| Perímetro | P | | Km | 83.364 |
| Longitud de río principal | L _r | | Km | 34.793 |
| Ancho medio de la cuenca | A _p | — | Km | 8.362 |
| Factor de forma de la cuenca F_r | | | | |
| Índice de Horton | H _r | $\frac{L_r}{P}$ | --- | 0.192 |
| Índice de Gravelius | H _G | $\frac{L_r^2}{A}$ | --- | 1.543 |
| Relación de Elongación | R _e | $\frac{L_r}{A_p}$ | --- | 0.494 |
| Rectángulo equivalente Req | | | | |
| Lado mayor | L | $\frac{L_r}{\sqrt{R_e}}$ | Km | 35.063 |
| Lado menor | l | $\frac{L_r}{\sqrt{R_e}}$ | Km | 6.618 |
| Radio de Circularidad | R _c | $\frac{L_r}{4}$ | --- | 0.419 |
| B: PARÁMETROS DE RELIEVE | | | | |
| Altura media de la cuenca | H _m | $\frac{\sum H}{n}$ | m.s.n.m | 4188.646 |
| Altitud más frecuente | H _f | | m.s.n.m | 4500 |
| Pendiente media de la cuenca | PMC | | % | 31.649 |
| Coficiente de masividad | C _m | $\frac{A}{L_r^2}$ | --- | 18.048 |
| Coficiente de Fournier | C _f | $\frac{L_r}{A_p}$ | --- | 75.599 |
| Coficiente de Torrencialidad | C _t | $\frac{L_r}{P}$ | --- | 0.219 |
| C: PARÁMETROS DE LA RED HIDROGRÁFICA | | | | |
| Frecuencia de densidad de ríos | F _r | $\frac{L_r}{A}$ | ríos/km ² | 0.387 |
| Densidad de drenaje | D _d | $\frac{L_r}{A}$ | km/km ² | 0.679 |
| Extensión media del escurrimiento superficial | E | $\frac{L_r}{A}$ | km/km ² | 1.472 |
| Pendiente medio del río principal | S _m | $\frac{L_r}{1000}$ | % | 0.046 |
| Altura media del Río principal | H _{med} | $\frac{L_r}{2}$ | m.s.n.m | 3981 |
| Tiempo de concentración | T _c | $0.0195 \cdot \frac{L_r^2}{A}$ | Horas | 0.981 |

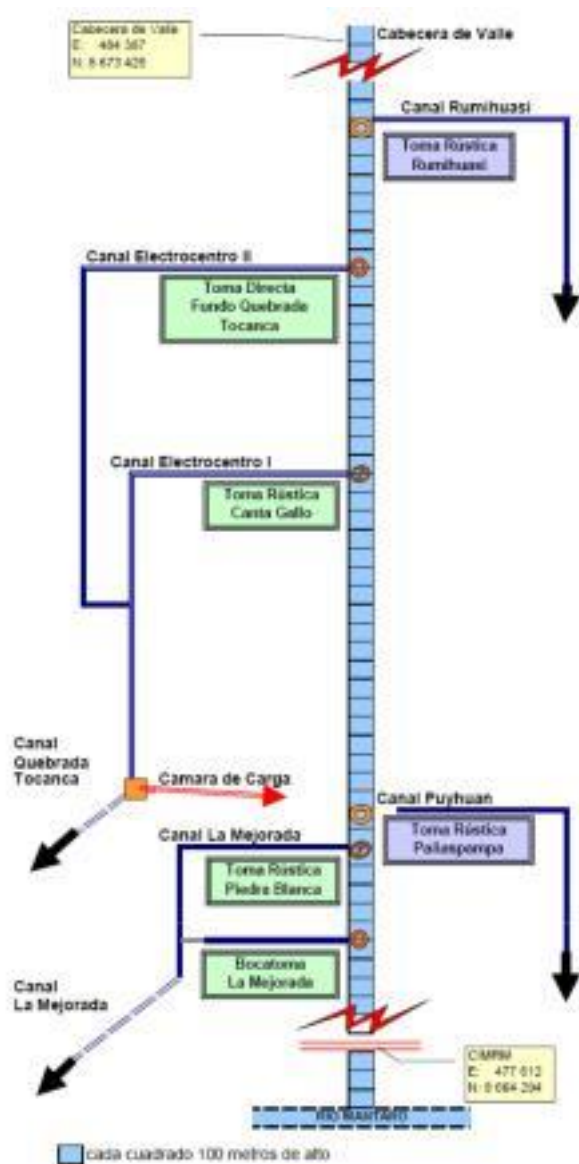
Nota: Elaboración propia.

4.4.5. Esquema fluvial del río Shullcas

La subcuenca del río Shullcas se origina en base a deshielos del nevado Huaytapallana, parte de este sistema lo constituyen las lagunas Lazo Huntay, Chuspicocha y Huacracocho. Este sistema de recursos hídrico de lagunas y nevados mantienen un régimen sostenido del río Shullcas. Sin embargo, estos recursos hídricos son insuficientes frente a las fuertes demandas de uso poblacional del agua y de usos agrícolas.

Figura 45

El río Shullcas con sus afluentes y efluentes



Nota: Extraído de estudio de recursos hídricos superficiales de la subcuenca Shullcas, 2015.

4.5. Evaluación climática de la subcuenca Shullcas

4.5.1. Evaluación de estaciones meteorológicas

El presente estudio tomara información de 23 estaciones meteorológicas que están ubicadas en la parte media del Valle del Mantaro, y tienen administración de: SENAMHI, ELECTRO PERU, IRI, INIA y el IGP con un periodo de registro en algunas estaciones a partir de 1922 hasta la actualidad en algunas de las estaciones principales, la información servirá de aporte para conocer el área de influencia geoespacial de estos puntos de observación mediante la metodología de interpolación simple basada en la distancia euclidiana o también conocida como polígono de Thiessen.

La cuenca del Mantaro sitúa en su parte media a la Subcuenca Shullcas, y presenta estaciones meteorológicas con registros históricos los cuales nos permitirán conocer la temperatura mediante métodos de interpolación según muestre la influencia las estaciones vecinas.

El objetivo es generar una ecuación experimental con datos reales que nos ayude a conocer el modelo numérico del comportamiento de la variable en estudio, esta metodología nos permite conocer los valores en lugares donde no se tiene información. Esta metodología se utilizará en las variables como son: La temperatura del aire, la evaporación y caudal para la subcuenca Shullcas.

El área de influencia directa a la subcuenca Shullcas está determinada por la parte media de la Cuenca Mantaro, por lo tanto, se necesitará un estudio de regionalización de las variables.

Se extrajo la información histórica de meteorología de la publicación: Atlas climático de precipitación y temperatura del aire en la cuenca del Rio Mantaro, que pertenece al IGP – Volumen I.

Tabla 46*Estaciones de registro meteorológico con influencia a la subcuenca Shullcas*

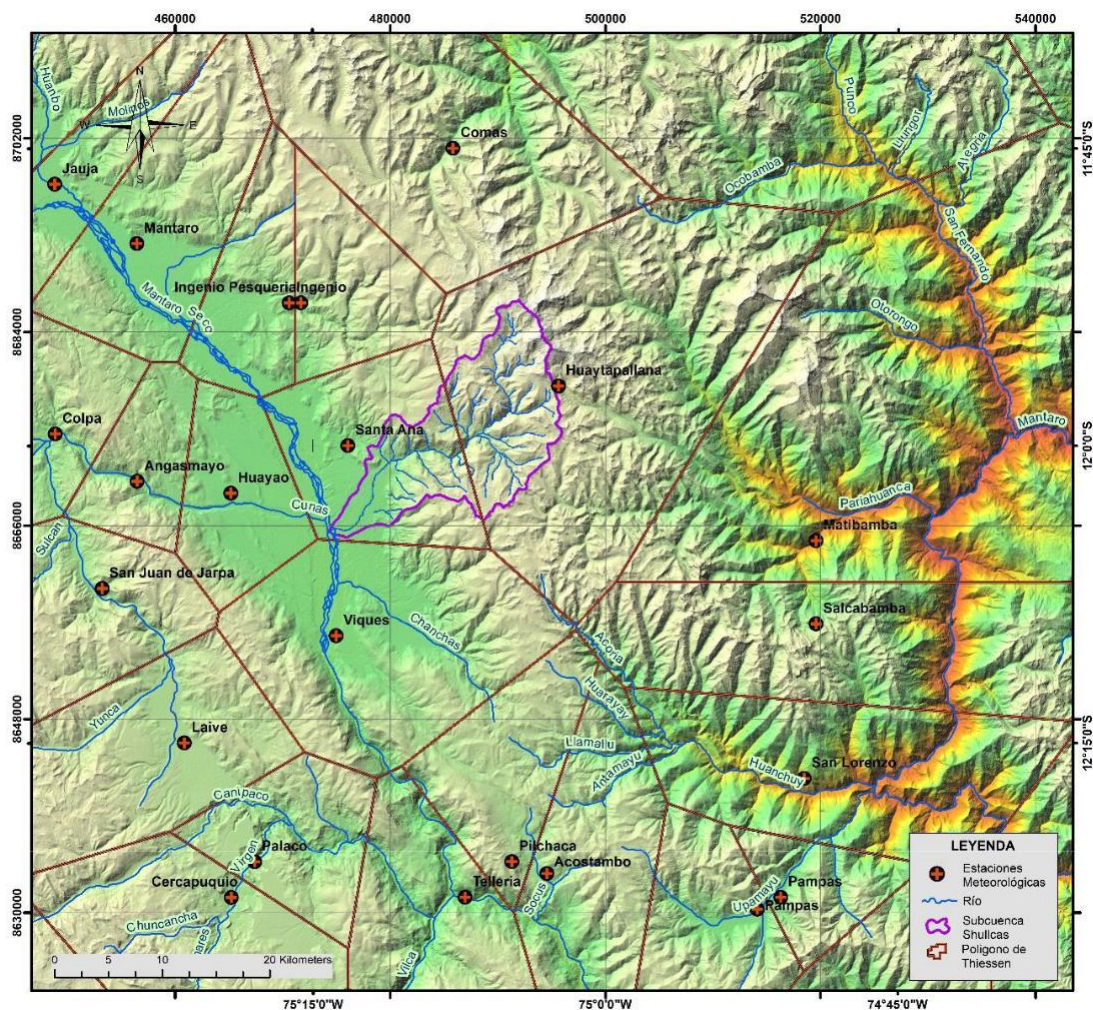
| Ítem | Nombre | Coordenada UTM - WGS-84 | | | Variables | | Fecha de Observación | | | Administrado Entidad |
|------|----------------------|-------------------------|--------|---------|-------------|---------------|----------------------|------------|------|-------------------------|
| | | Norte | Este | Altitud | Temperatura | Precipitación | Inicio | Fin | Años | |
| 1 | Comas | 8701087 | 485835 | 3300 | SI | SI | 01/12/1963 | 01/11/2002 | 40 | SENAMHI |
| 2 | Jauja | 8697730 | 448795 | 3322 | SI | SI | 01/01/1935 | 01/12/2018 | 85 | SENAMHI |
| 3 | Mantaro | 8692213 | 456429 | 3300 | NO | SI | 01/02/1963 | 01/06/2004 | 41 | ELECTRO PERU |
| 4 | Ingenio Pesquería | 8686702 | 471684 | 3450 | SI | SI | 01/08/1963 | 01/11/2018 | 57 | SENAMHI |
| 5 | Ingenio | 8686701 | 470595 | 3399 | NO | SI | 01/08/1963 | 01/12/1981 | 19 | IRI |
| 6 | Huaytapallana | 8678975 | 495645 | 4510 | NO | SI | 01/08/1963 | 01/06/2018 | 54 | ELECTRO PERU |
| 7 | Colpa | 8674509 | 448834 | 3450 | NO | SI | 01/07/1963 | 01/06/2004 | 35 | ELECTRO PERU |
| 8 | Santa Ana | 8673437 | 476051 | 3295 | SI | SI | 01/01/1992 | 01/11/2018 | 28 | INIA-SENAMHI |
| 9 | Angasmayo | 8670097 | 456461 | 3280 | NO | SI | 01/01/1964 | 01/06/2004 | 40 | ELECTRO PERU |
| 10 | Huayao | 8669003 | 465170 | 3308 | NO | SI | 01/01/1922 | 01/12/2015 | 81 | IGP |
| 11 | Matibamba | 8664594 | 519589 | 2199 | NO | SI | 01/08/1963 | 01/07/1977 | 15 | IRI |
| 12 | San Juan de Jarpa | 8660140 | 453211 | 3726 | NO | SI | 01/06/1963 | 01/03/1997 | 35 | SENAMHI |
| 13 | Salcabamba | 8656853 | 519584 | 2900 | SI | SI | 01/04/1963 | 01/11/2002 | 38 | ELECTRO PERU |
| 14 | Viques | 8655743 | 474977 | 3186 | SI | SI | 01/03/1964 | 01/02/1998 | 35 | SENAMHI |
| 15 | Laive | 8645776 | 460847 | 3990 | SI | SI | 01/08/1963 | 01/11/2002 | 40 | SENAMHI |
| 16 | San Lorenzo | 8642478 | 518487 | 2600 | SI | SI | 01/09/1963 | 01/11/2002 | 40 | SENAMHI |
| 17 | Palaco | 8634725 | 467385 | 3650 | NO | SI | 01/02/1963 | 01/06/2004 | 42 | ELECTRO PERU |
| 18 | Pilchaca | 8634742 | 491303 | 3570 | SI | SI | 01/07/1964 | 01/11/2002 | 39 | SENAMHI |
| 19 | Acostambo | 8633637 | 494564 | 3650 | SI | SI | 01/06/1963 | 01/06/2004 | 42 | ELECTRO PERU |
| 20 | Cercapuquio | 8631405 | 465214 | 4390 | NO | SI | 01/06/1963 | 01/06/2004 | 42 | ELECTRO PERU |
| 21 | Tellería | 8631423 | 486955 | 3050 | NO | SI | 01/01/1964 | 01/06/2004 | 40 | ELECTRO PERU |
| 22 | Pampas | 8631422 | 516306 | 3260 | SI | NO | 01/02/1989 | 01/11/2002 | 14 | SENAMHI |
| 23 | Pampas | 8630317 | 514131 | 3260 | NO | SI | 01/01/1963 | 01/06/2004 | 41 | ELECTROPERU |

Nota: *Atlas de climatología de SENAMHI, 2015.*

Ahora determinamos la influencia directa aplicando los polígonos de Thiessen, mediante herramientas GIS se ubicará a la Subcuenca Shullcas traslapando el área de influencia de las estaciones meteorológicas.

Figura 46

Distribución de estaciones meteorológicas y aplicación del polígono de Thiessen



Nota: Elaboración propia.

a. Régimen de precipitación en la cuenca media del Mantaro

La información consolidada del estudio de climatología concerniente a la precipitación pluviométrica, se ha consolidado a partir de 1960 al 2018 de una red de estaciones de administración múltiple, donde se puede observar que varían de forma estacional siendo los meses de junio, julio y agosto los meses con menor persistencia de lluvias, que presentan las características de excelente visibilidad para la elección de imágenes satelitales y por consiguiente tiene los menores índices de aporte de nieve o lluvia al área glaciar, se puede denominar la cota mínima de cobertura de

hielo durante el año hídrico en la cuenca media del Mantaro donde se ubica el nevado del Huaytapallana.

Tabla 47

Precipitación media anual con influencia a la subcuenca Shullcas

| REGISTRO METEOROLOGICO DE PRECIPITACIÓN PLUVIOMÉTRICA CON INFLUENCIA A LA SUBCUENCA SHULLCAS 1960 A 2018 | | | | | | | | | | | | | | |
|--|------------------------|-------------------------------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|--------|
| DESCRIPCION | | DISTRIBUCION DE MESES DEL AÑO | | | | | | | | | | | TOTAL | |
| Ítem | Estación Meteorológica | E | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | ANUAL |
| 1 | Acostambo | 123.0 | 119.4 | 108.1 | 44.9 | 18.9 | 11.6 | 10.9 | 20.8 | 42.3 | 62.5 | 69.9 | 89.1 | 721.4 |
| 2 | Angasmayo | 108.0 | 119.3 | 114.7 | 51.9 | 15.4 | 6.1 | 6.9 | 12.5 | 30.2 | 60.4 | 54.4 | 71.5 | 651.3 |
| 3 | Cercapuquio | 134.7 | 144.9 | 141.9 | 71.5 | 29.6 | 9.2 | 10.9 | 18.1 | 44.9 | 69.5 | 75.8 | 103.8 | 854.8 |
| 4 | Colpa | 117.5 | 133.5 | 124.7 | 59.1 | 14.2 | 4.9 | 6.9 | 12.9 | 32.3 | 59.5 | 63.2 | 88.3 | 717.0 |
| 5 | Comas | 134.2 | 151.4 | 139.2 | 61.9 | 26.4 | 12.4 | 21.4 | 24.4 | 59.1 | 82.0 | 94.6 | 118.0 | 925.0 |
| 6 | Huayao | 118.7 | 129.1 | 114.2 | 58.5 | 18.4 | 7.6 | 7.0 | 19.3 | 46.2 | 71.0 | 67.9 | 94.1 | 752.0 |
| 7 | Huaytapallana | 153.7 | 149.5 | 135.9 | 57.3 | 23.6 | 8.0 | 7.3 | 14.1 | 42.7 | 66.2 | 87.2 | 108.2 | 853.7 |
| 8 | Ingenio | 140.8 | 131.4 | 111.6 | 48.7 | 20.5 | 8.2 | 5.2 | 9.0 | 29.2 | 62.8 | 81.0 | 106.2 | 754.6 |
| 9 | Jauja | 122.7 | 119.1 | 116.2 | 49.5 | 10.7 | 4.9 | 4.5 | 8.8 | 29.6 | 65.0 | 74.1 | 99.4 | 704.5 |
| 10 | Laive | 156.2 | 169.4 | 140.9 | 64.1 | 24.0 | 9.3 | 12.9 | 23.9 | 63.1 | 79.4 | 76.4 | 117.3 | 936.9 |
| 11 | Mantaro | 103.2 | 110.3 | 111.4 | 49.4 | 13.7 | 4.2 | 5.6 | 10.3 | 29.1 | 55.6 | 67.9 | 99.4 | 660.1 |
| 12 | Matibamba | 154.1 | 122.8 | 123.4 | 72.9 | 36.9 | 14.1 | 22.5 | 26.6 | 58.6 | 67.3 | 69.9 | 109.8 | 878.9 |
| 13 | Palaco | 110.9 | 111.4 | 95.2 | 45.3 | 18.2 | 8.0 | 9.6 | 18.0 | 39.9 | 58.1 | 60.9 | 83.6 | 659.1 |
| 14 | Pampas | 84.8 | 93.7 | 83.6 | 33.1 | 15.3 | 7.7 | 9.4 | 17.0 | 31.5 | 42.9 | 44.8 | 78.0 | 541.8 |
| 15 | Pesqueria ING | 141.9 | 155.9 | 137.1 | 50.7 | 22.4 | 7.3 | 7.6 | 11.5 | 36.9 | 75.2 | 80.1 | 126.7 | 853.3 |
| 16 | Pilchaca | 127.2 | 127.9 | 108.4 | 43.5 | 14.5 | 13.6 | 11.1 | 20.8 | 44.1 | 61.7 | 64.0 | 91.3 | 728.1 |
| 17 | Salcabamba | 97.9 | 125.3 | 104.4 | 33.1 | 21.3 | 16.0 | 13.2 | 16.8 | 28.4 | 60.5 | 72.2 | 79.3 | 668.4 |
| 18 | San Lorenzo | 87.2 | 103.9 | 107.7 | 28.8 | 14.3 | 3.5 | 9.8 | 11.6 | 24.4 | 32.0 | 44.9 | 74.2 | 542.3 |
| 19 | Santa Ana | 98.7 | 117.9 | 94.1 | 43.1 | 9.9 | 5.0 | 6.0 | 11.6 | 29.2 | 60.5 | 75.9 | 94.4 | 646.3 |
| 20 | San Juan de Jarpa | 172.9 | 168.0 | 174.2 | 78.8 | 27.6 | 18.8 | 11.1 | 34.8 | 69.0 | 91.4 | 96.2 | 110.7 | 1053.5 |
| 21 | Telleria | 90.6 | 100.8 | 73.6 | 38.5 | 13.7 | 7.4 | 8.3 | 17.7 | 38.4 | 54.0 | 51.4 | 72.0 | 566.4 |
| 22 | Viques | 128.5 | 139.7 | 91.7 | 32.0 | 14.1 | 11.4 | 11.4 | 11.6 | 34.0 | 75.3 | 77.4 | 76.2 | 703.3 |

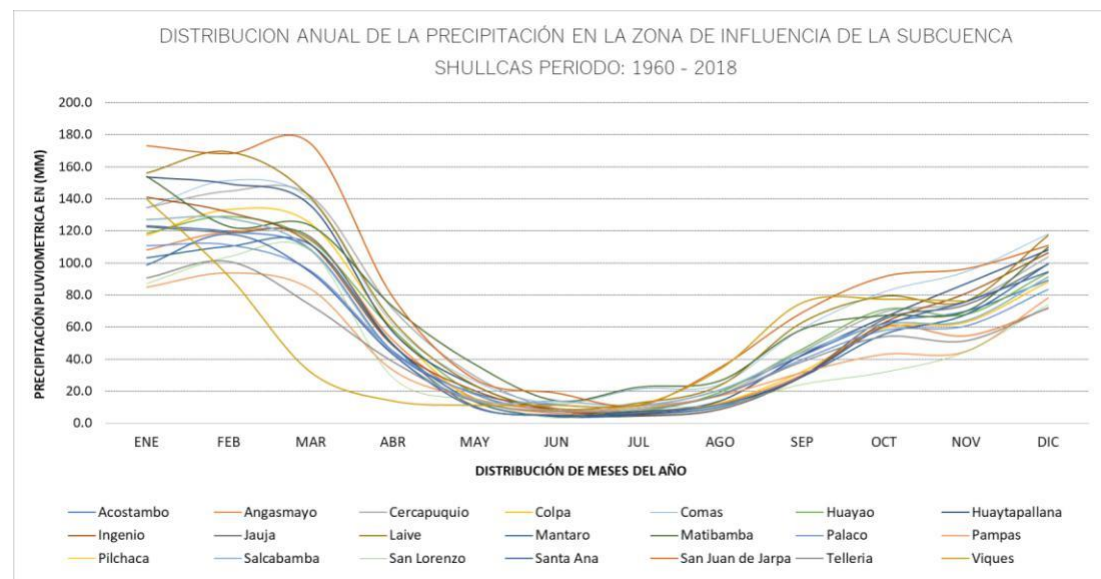
Nota: Atlas climático de precipitación y temperatura del aire en la cuenca del río Mantaro, 2015.

En esta gráfica se distribuye el comportamiento de la precipitación acumulada promedio mensual del periodo 1960 al 2018 en la parte media del valle del Mantaro, y presenta un marcado comportamiento en la distribución de lluvias en la zona de estudio.

b. Distribución mensual de la temperatura del aire en la cuenca Mantaro

Gráfica 6

Comportamiento mensual promedio de la temperatura de la cuenca Mantaro



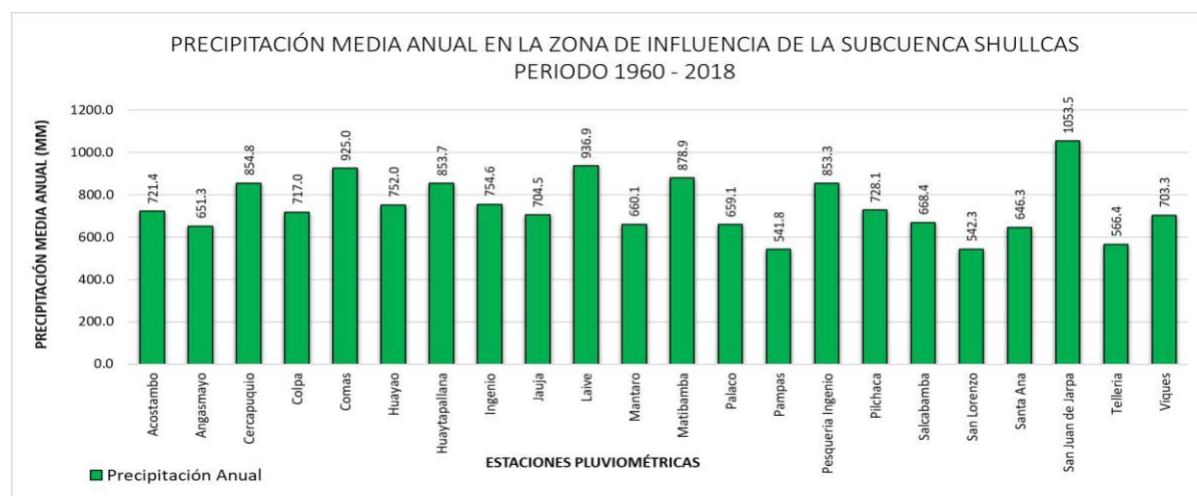
Nota: *Elaboración propia.*

El régimen de precipitación mensual en la parte media de la cuenca del Mantaro, es definido y marcado en su comportamiento según el registro de datos que presenta el SENAMHI en los años de observación.

c. Precipitación media anual de la precipitación en la cuenca Mantaro

Gráfica 7

Precipitación media anual en cuencas vecinas a la zona de estudio



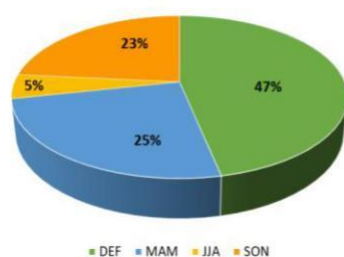
Nota: Adaptado de Senamhi 2015.

La distribución de la precipitación media acumulada de una serie histórica de registro pluviométrico en la cuenca media del Mantaro presenta el siguiente comportamiento, que presentan correspondencia directa a la cantidad de precipitación y la altitud de su ubicación geográfica.

La cantidad de la precipitación acumulada bajo el criterio de distribución trimestral en el área de influencia de la subcuenca Shullcas se ve de la siguiente manera: en los meses de diciembre, enero y febrero esta el 46.68%, en marzo, abril y mayo presenta 25%, en junio, julio y agosto presenta el 4.38% y en setiembre, octubre y noviembre abarca el 23.49% restante.

Gráfica 8

DISTRIBUCIÓN MEDIA PORCENTUAL TRIMESTRAL DE LA PRECIPITACIÓN DURANTE EL PERIODO: 1960 - 2018



Nota: Elaboración propia.

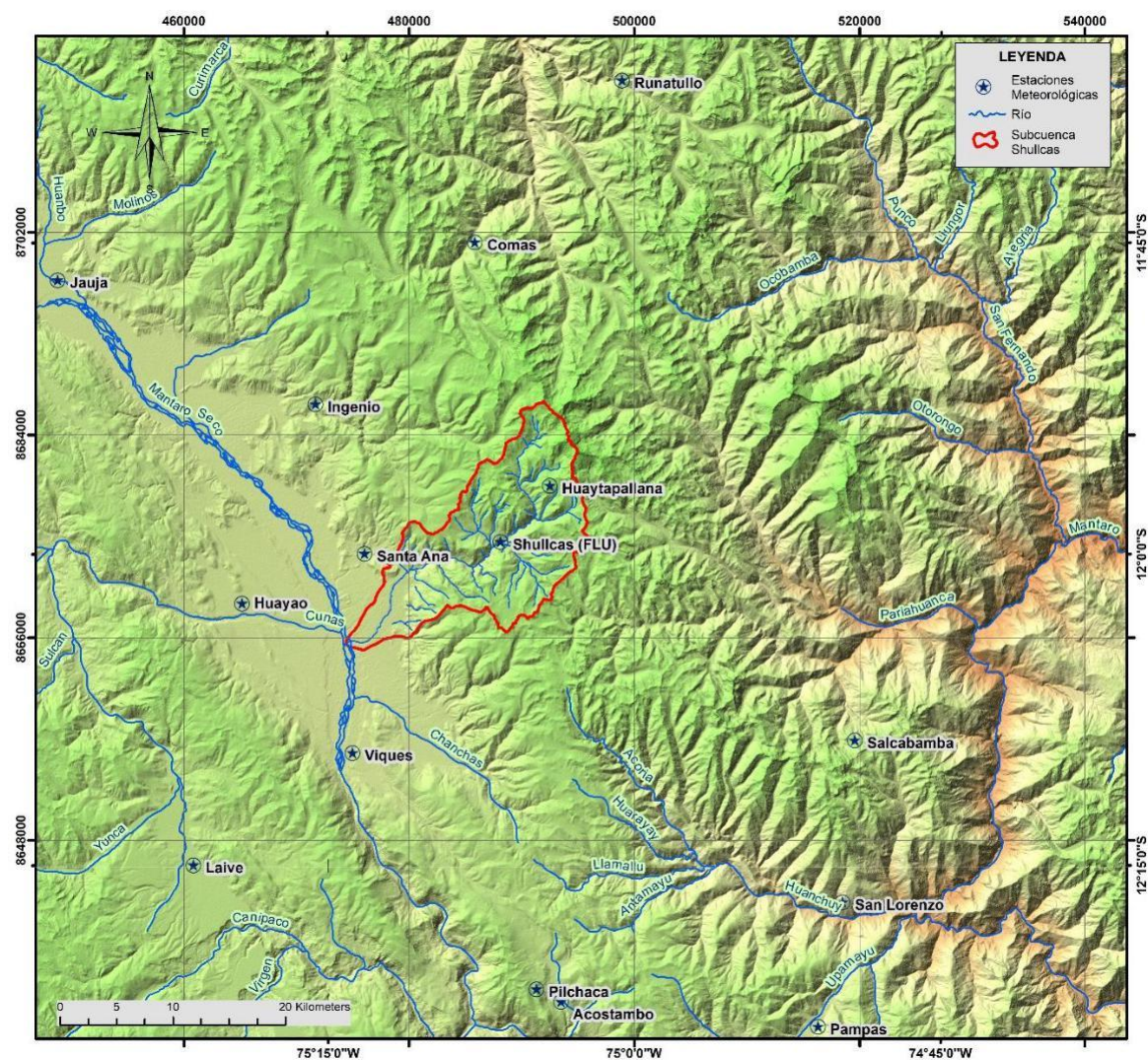
Como se demuestra en el área de influencia del estudio se determinó el comportamiento predominante de las variables en un registro acentuado de años, lo cual será útil para realizar la regionalización en la subcuenca Shullcas en los capítulos de hidrometría y pluviometría.

4.5.2. Temperatura del aire

Se consolidó la información multitemporal de la temperatura del aire en la parte media de la cuenca del Mantaro, según el registro meteorológico a partir de 1960 al 2018.

Figura 47

Ubicación de estaciones meteorológicas con amplitud meteorológica



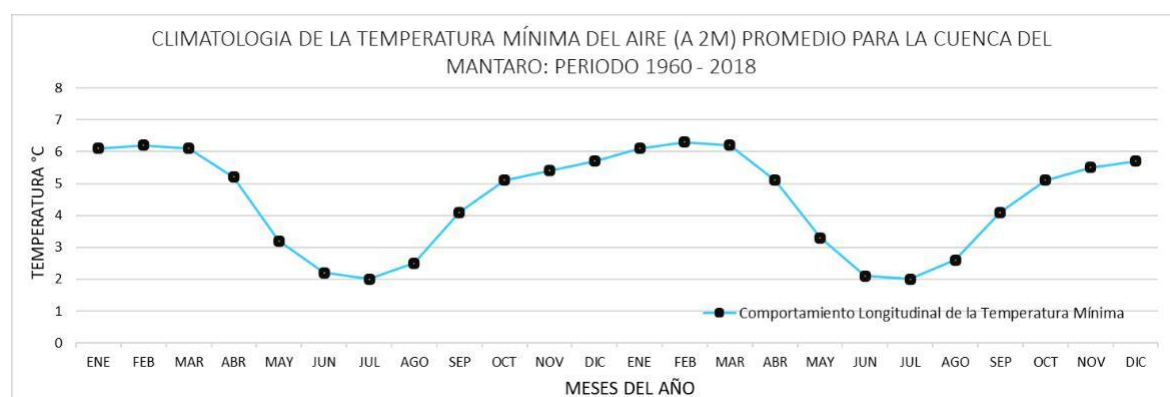
Nota: Elaboración propia.

Los datos históricos establecen que la temperatura varía cíclicamente en el año de la siguiente manera en la cuenca media del valle del Mantaro, en la publicación del IGP se muestra el comportamiento promedio en las variables de temperatura máxima, mínima y media. Se denota que es cíclico en los meses del año.

- a. Distribución mensual de la temperatura media, mínima y máxima en la cuenca Mantaro

Gráfica 9

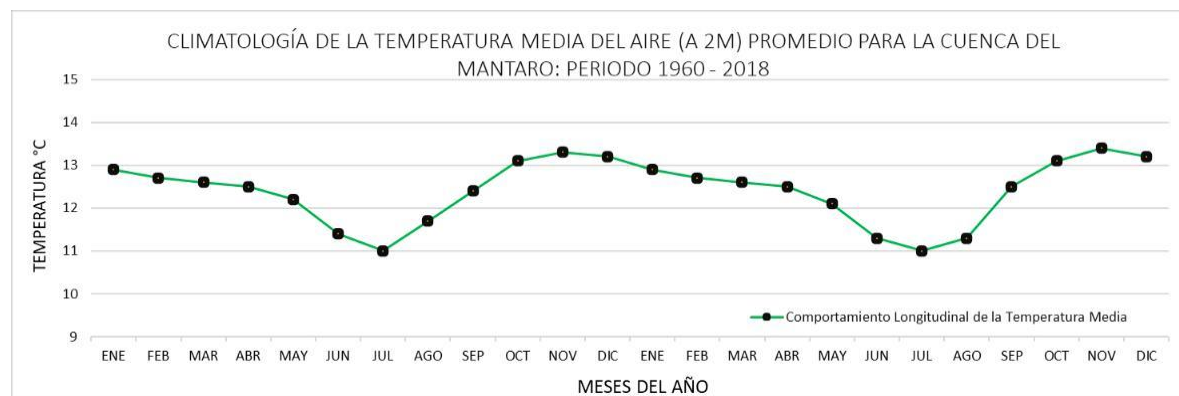
Distribución mensual de la temperatura mínima en el valle del Mantaro



Nota: *Atlas climático de precipitación y temperatura del aire en la cuenca del río Mantaro, 2015.*

Gráfica 10

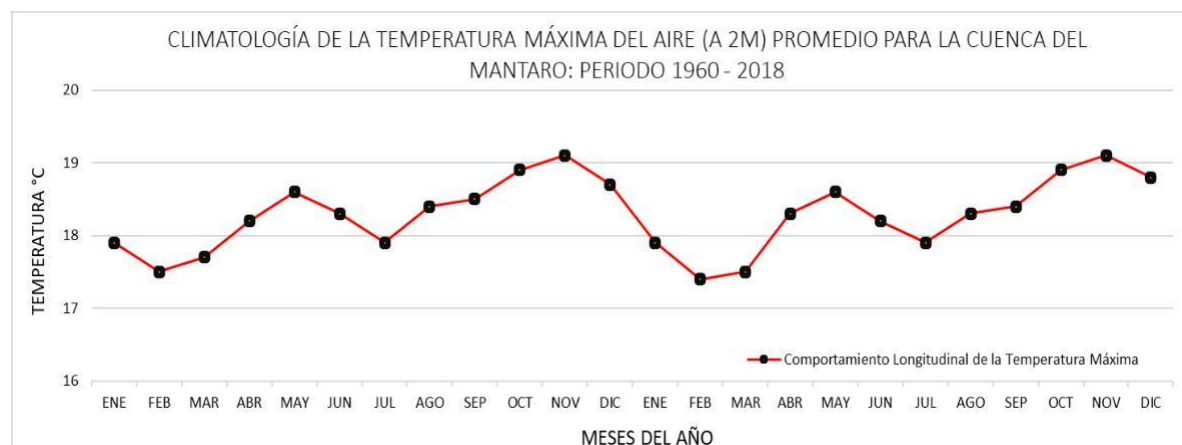
Distribución mensual de la temperatura media en el valle del Mantaro



Nota: *Atlas climático de precipitación y temperatura del aire en la cuenca del río Mantaro, 2015.*

Gráfica 11

Distribución mensual de la temperatura máxima en el valle del Mantaro



Nota: Atlas climático de precipitación y temperatura del aire en la cuenca del río Mantaro, 2015.

b. Registro histórico de temperatura mínima en la cuenca Mantaro

Tabla 48

Registro histórico de temperatura mínima en la cuenca Mantaro

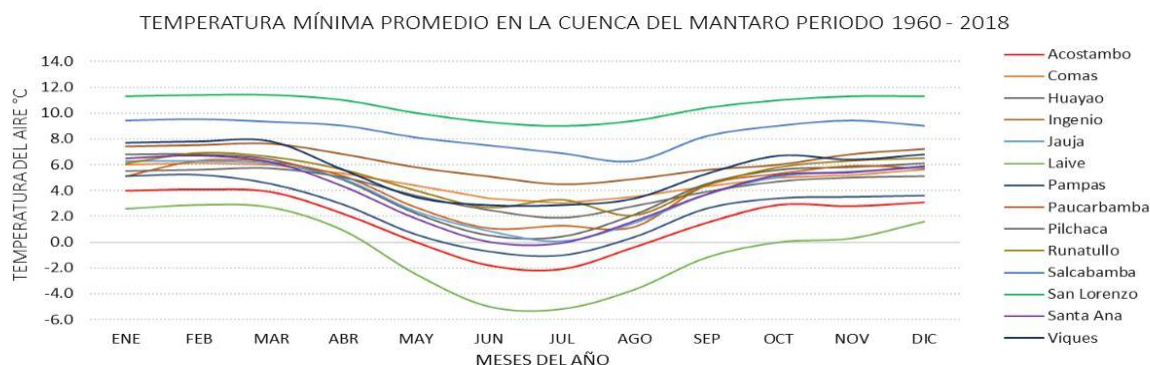
REGISTRO METEOROLOGICO DE TEMPERATURA MÍNIMA MENSUAL EN LA CUENCA MANTARO: 1960 A 2018

| Ítem | DESCRIPCION Estación Meteorológica | DISTRIBUCION DE MESES DEL AÑO | | | | | | | | | | | | MEDIA ANUAL |
|---------------|---------------------------------------|-------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------------|
| | | E | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | |
| 1 | Acostambo | 4.0 | 4.1 | 3.9 | 2.2 | 0.0 | -1.8 | -2.1 | -0.4 | 1.5 | 2.9 | 2.8 | 3.1 | 1.7 |
| 2 | Comas | 6.0 | 6.1 | 6.0 | 5.3 | 4.4 | 3.4 | 3.0 | 3.5 | 4.3 | 5.0 | 5.2 | 5.6 | 4.8 |
| 3 | Huayao | 6.8 | 6.8 | 6.4 | 4.8 | 2.2 | 0.5 | 0.4 | 2.1 | 4.5 | 5.6 | 5.8 | 6.1 | 4.3 |
| 4 | Ingenio | 5.1 | 6.3 | 6.2 | 5.1 | 2.7 | 1.1 | 1.3 | 1.2 | 4.4 | 5.3 | 5.9 | 5.7 | 4.2 |
| 5 | Jauja | 6.3 | 6.3 | 6.1 | 4.9 | 2.4 | 0.9 | 0.1 | 1.5 | 3.7 | 5.1 | 5.5 | 5.8 | 4.1 |
| 6 | Laive | 2.6 | 2.9 | 2.7 | 0.9 | -2.5 | -5.0 | -5.2 | -3.7 | -1.2 | 0.0 | 0.3 | 1.6 | -0.6 |
| 7 | Pampas | 5.1 | 5.2 | 4.5 | 2.9 | 0.6 | -0.7 | -1.0 | 0.4 | 2.6 | 3.4 | 3.5 | 3.6 | 2.5 |
| 8 | Paucarbamba | 7.4 | 7.5 | 7.6 | 6.8 | 5.8 | 5.1 | 4.5 | 4.9 | 5.6 | 6.0 | 6.8 | 7.2 | 6.3 |
| 9 | Pilchaca | 5.5 | 5.6 | 5.7 | 5.0 | 3.6 | 2.5 | 1.9 | 2.8 | 3.9 | 4.7 | 5.0 | 5.1 | 4.3 |
| 10 | Runatullo | 6.1 | 6.9 | 6.6 | 5.6 | 4.0 | 2.7 | 3.3 | 2.1 | 4.4 | 5.8 | 6.3 | 6.5 | 5.0 |
| 11 | Salcabamba | 9.4 | 9.5 | 9.3 | 9.0 | 8.1 | 7.5 | 6.9 | 6.3 | 8.2 | 9.0 | 9.4 | 9.0 | 8.5 |
| 12 | San Lorenzo | 11.3 | 11.4 | 11.4 | 11.0 | 10.0 | 9.3 | 9.0 | 9.4 | 10.4 | 11.0 | 11.3 | 11.3 | 10.6 |
| 13 | Santa Ana | 6.5 | 6.7 | 6.2 | 4.3 | 1.8 | 0.0 | -0.1 | 1.6 | 3.7 | 5.2 | 5.4 | 5.9 | 3.9 |
| 14 | Viques | 7.7 | 7.8 | 7.8 | 5.6 | 3.5 | 2.9 | 2.9 | 3.4 | 5.3 | 6.7 | 6.4 | 6.8 | 5.6 |
| Media Mensual | | 6.1 | 6.3 | 6.2 | 5.1 | 3.4 | 2.2 | 1.9 | 2.5 | 4.2 | 5.2 | 5.4 | 5.7 | |

Nota: Atlas climático de precipitación y temperatura del aire en la cuenca del río Mantaro, 2015.

Gráfica 12

Temperatura mínima mensual promedio en la cuenca del Mantaro



Nota: Adaptado de Senamhi, 2015.

Las menores temperaturas se registran durante los meses de junio y julio.

c. Registro histórico de temperatura máxima en la cuenca Mantaro

Tabla 49

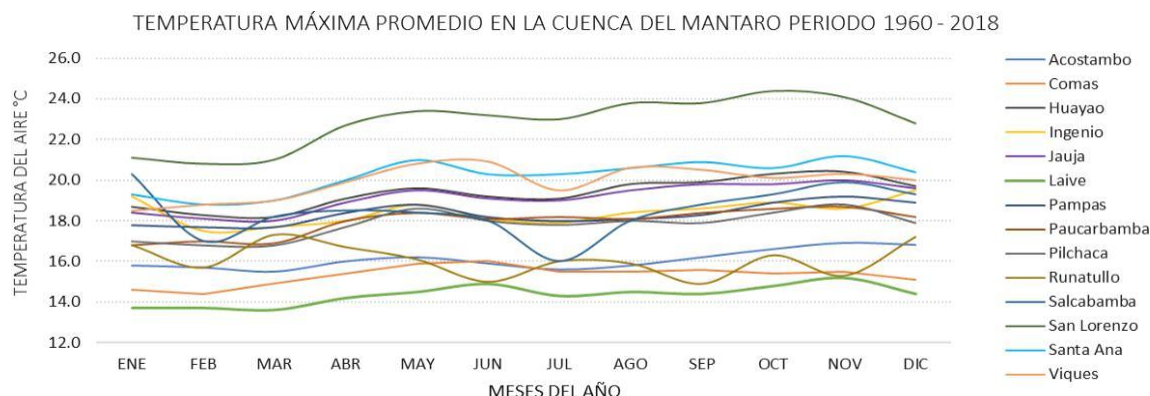
Temperatura máxima mensual promedio en la cuenca del Mantaro

| REGISTRO METEOROLOGICO DE TEMPERATURA MÁXIMA MENSUAL EN LA CUENCA MANTARO: 1960 A 2018 | | | | | | | | | | | | | | |
|--|------------------------|-------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| DESCRIPCION | | DISTRIBUCION DE MESES DEL AÑO | | | | | | | | | | | MEDIA | |
| Ítem | Estación Meteorológica | E | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | ANUAL |
| 1 | Acostambo | 15.8 | 15.7 | 15.5 | 16.0 | 16.2 | 15.9 | 15.6 | 15.8 | 16.2 | 16.6 | 16.9 | 16.8 | 16.1 |
| 2 | Comas | 14.6 | 14.4 | 14.9 | 15.4 | 15.9 | 16.0 | 15.5 | 15.5 | 15.6 | 15.4 | 15.5 | 15.1 | 15.3 |
| 3 | Huayao | 18.7 | 18.3 | 18.2 | 19.1 | 19.6 | 19.2 | 19.1 | 19.8 | 19.9 | 20.3 | 20.4 | 19.7 | 19.4 |
| 4 | Ingenio | 19.2 | 17.5 | 17.7 | 18.0 | 18.8 | 18.1 | 17.9 | 18.4 | 18.6 | 18.9 | 18.6 | 19.5 | 18.4 |
| 5 | Jauja | 18.4 | 18.1 | 18.0 | 18.9 | 19.5 | 19.1 | 19.0 | 19.5 | 19.8 | 19.8 | 20.0 | 19.6 | 19.1 |
| 6 | Laive | 13.7 | 13.7 | 13.6 | 14.2 | 14.5 | 14.9 | 14.3 | 14.5 | 14.4 | 14.8 | 15.2 | 14.4 | 14.4 |
| 7 | Pampas | 17.8 | 17.7 | 17.7 | 18.4 | 18.8 | 18.2 | 18.0 | 18.1 | 18.3 | 18.9 | 19.2 | 18.9 | 18.3 |
| 8 | Paucarbamba | 16.8 | 17.0 | 16.9 | 18.0 | 18.4 | 18.1 | 18.2 | 18.1 | 18.4 | 18.6 | 18.7 | 18.2 | 18.0 |
| 9 | Pilchaca | 17.0 | 16.8 | 16.8 | 17.7 | 18.6 | 18.0 | 17.8 | 18.0 | 17.9 | 18.4 | 18.8 | 17.9 | 17.8 |
| 10 | Runatullo | 16.8 | 15.7 | 17.3 | 16.7 | 16.1 | 15.0 | 16.0 | 15.9 | 14.9 | 16.3 | 15.3 | 17.2 | 16.1 |
| 11 | Salcabamba | 20.3 | 17.0 | 18.2 | 18.5 | 18.4 | 18.0 | 16.0 | 18.0 | 18.8 | 19.3 | 19.9 | 19.3 | 18.5 |
| 12 | San Lorenzo | 21.1 | 20.8 | 21.0 | 22.7 | 23.4 | 23.2 | 23.0 | 23.8 | 23.8 | 24.4 | 24.1 | 22.8 | 22.8 |
| 13 | Santa Ana | 19.3 | 18.8 | 19.0 | 20.0 | 21.0 | 20.3 | 20.3 | 20.6 | 20.9 | 20.6 | 21.2 | 20.4 | 20.2 |
| 14 | Viques | 18.5 | 18.8 | 19.0 | 19.9 | 20.8 | 20.9 | 19.5 | 20.6 | 20.5 | 20.1 | 20.3 | 20.0 | 19.9 |
| Media Mensual | | 17.6 | 17.1 | 17.3 | 17.9 | 18.3 | 17.9 | 17.5 | 18.1 | 18.2 | 18.5 | 18.8 | 18.4 | |

Nota: Atlas climático de precipitación y temperatura del aire en la cuenca del río Mantaro, 2015.

Gráfica 13

Temperatura máxima mensual promedio en la cuenca del Mantaro



Nota: Adaptado de Senamhi, 2015.

Registro histórico de temperatura media en la cuenca Mantaro

Tabla 50

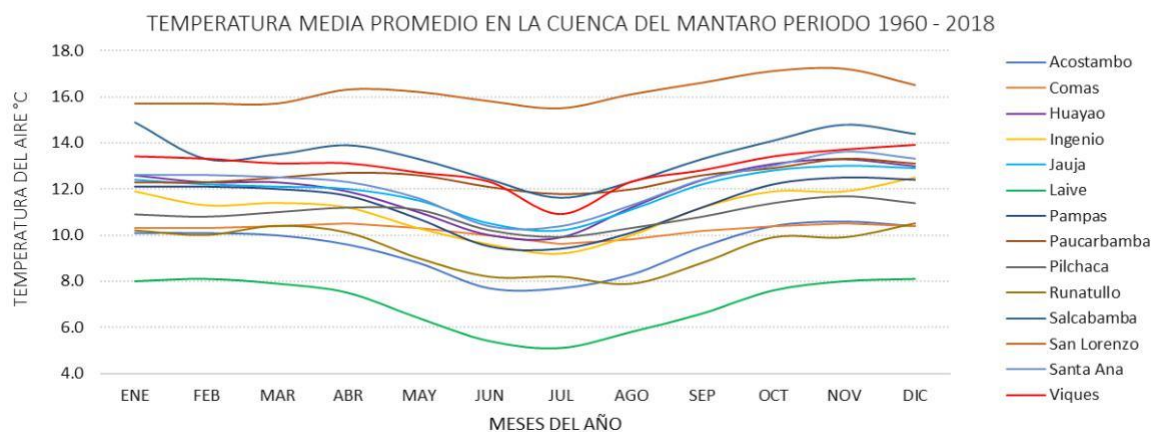
Temperatura media mensual promedio en la cuenca del Mantaro

| REGISTRO METEOROLOGICO DE TEMPERATURA MEDIA MENSUAL EN LA CUENCA MANTARO: 1960 A 2018 | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---------------------------------------|-------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Ítem | DESCRIPCION Estación Meteorológica | DISTRIBUCION DE MESES DEL AÑO | | | | | | | | | | | | MEDIA ANUAL |
| | | E | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | |
| 1 | Acostambo | 10.1 | 10.1 | 10.0 | 9.6 | 8.8 | 7.7 | 7.7 | 8.3 | 9.5 | 10.4 | 10.6 | 10.4 | 9.4 |
| 2 | Comas | 10.3 | 10.3 | 10.4 | 10.5 | 10.3 | 10.0 | 9.6 | 9.8 | 10.2 | 10.4 | 10.5 | 10.4 | 10.2 |
| 3 | Huayao | 12.6 | 12.3 | 12.3 | 11.9 | 11.0 | 10.0 | 9.9 | 11.2 | 12.4 | 13.1 | 13.3 | 13.0 | 11.9 |
| 4 | Ingenio | 11.9 | 11.3 | 11.4 | 11.2 | 10.3 | 9.6 | 9.2 | 10.0 | 11.2 | 11.9 | 11.9 | 12.5 | 11.0 |
| 5 | Jauja | 12.4 | 12.2 | 12.1 | 12.0 | 11.5 | 10.5 | 10.2 | 11.1 | 12.2 | 12.8 | 13.0 | 12.9 | 11.9 |
| 6 | Laive | 8.0 | 8.1 | 7.9 | 7.5 | 6.4 | 5.4 | 5.1 | 5.8 | 6.6 | 7.6 | 8.0 | 8.1 | 7.0 |
| 7 | Pampas | 12.1 | 12.1 | 12.0 | 11.7 | 10.7 | 9.5 | 9.4 | 10.1 | 11.2 | 12.2 | 12.5 | 12.4 | 11.3 |
| 8 | Paucarbamba | 12.3 | 12.3 | 12.5 | 12.7 | 12.6 | 12.1 | 11.8 | 12.0 | 12.6 | 12.9 | 13.3 | 13.1 | 12.5 |
| 9 | Pilchaca | 10.9 | 10.8 | 11.0 | 11.2 | 11.1 | 10.2 | 9.9 | 10.3 | 10.8 | 11.4 | 11.7 | 11.4 | 10.9 |
| 10 | Runatullo | 10.2 | 10.0 | 10.4 | 10.1 | 9.0 | 8.2 | 8.2 | 7.9 | 8.8 | 9.9 | 9.9 | 10.5 | 9.4 |
| 11 | Salcabamba | 14.9 | 13.3 | 13.5 | 13.9 | 13.3 | 12.4 | 11.6 | 12.3 | 13.3 | 14.1 | 14.8 | 14.4 | 13.5 |
| 12 | San Lorenzo | 15.7 | 15.7 | 15.7 | 16.3 | 16.2 | 15.8 | 15.5 | 16.1 | 16.6 | 17.1 | 17.2 | 16.5 | 16.2 |
| 13 | Santa Ana | 12.6 | 12.6 | 12.5 | 12.3 | 11.6 | 10.4 | 10.4 | 11.3 | 12.4 | 13.0 | 13.6 | 13.3 | 12.2 |
| 14 | Viques | 13.4 | 13.3 | 13.1 | 13.1 | 12.7 | 12.3 | 10.9 | 12.3 | 12.8 | 13.4 | 13.7 | 13.9 | 12.9 |
| MEDIA MENSUAL | | 11.8 | 11.6 | 11.6 | 11.5 | 11.0 | 10.2 | 9.9 | 10.5 | 11.3 | 12.0 | 12.3 | 12.2 | |

Nota: Atlas climático de precipitación y temperatura del aire en la cuenca del río Mantaro, 2015.

Gráfica 14

Temperatura media mensual promedio en la cuenca del Mantaro



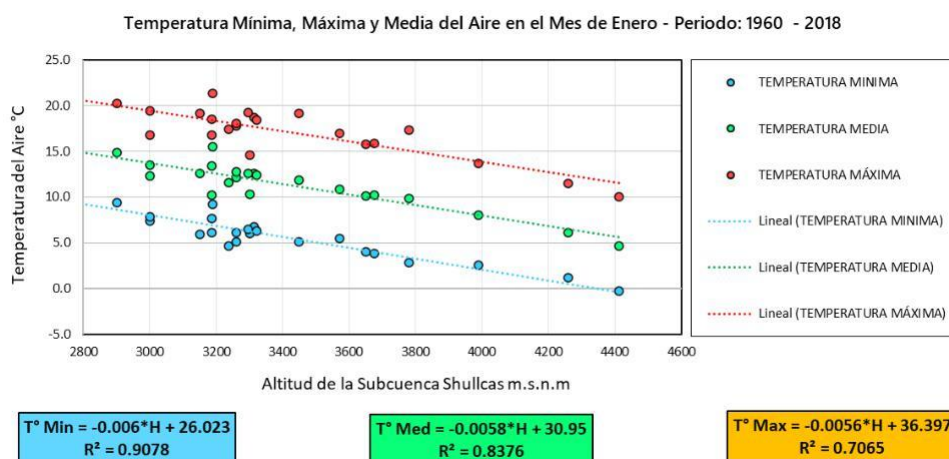
Nota: Adaptado de Senamhi, 2015.

Se realizará la búsqueda de la ecuación de regionalización de la temperatura, esto se realizará para cada mes del año. La relación que se tome será temperatura con altitud de la estación de monitoreo.

d. Regionalización de la temperatura media, máxima y mínima

Gráfica 15

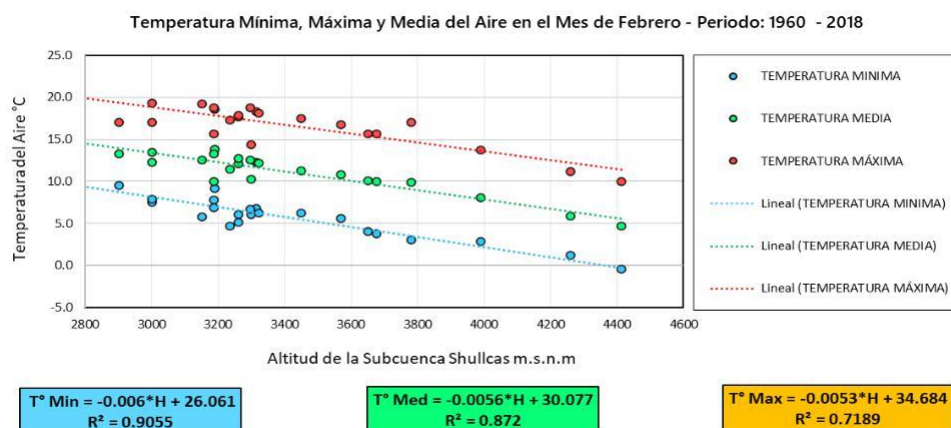
Ecuación regional de la temperatura para mes de enero



Nota: Elaboración propia.

Gráfica 16

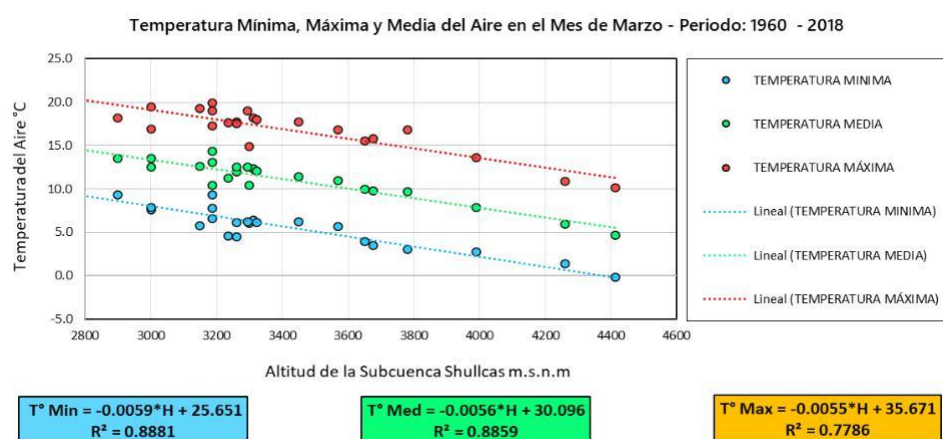
Ecuación regional de la temperatura para mes de febrero



Nota: Elaboración propia.

Gráfica 17

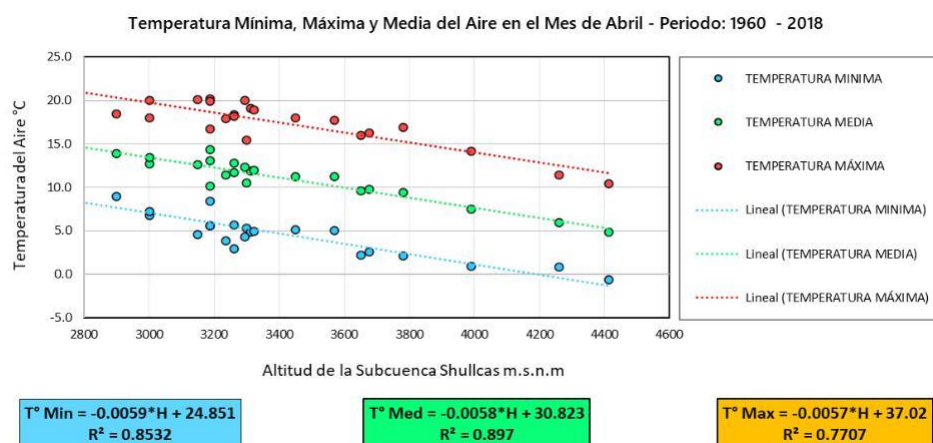
Ecuación regional de la temperatura para mes de marzo



Nota: Elaboración propia.

Gráfica 18

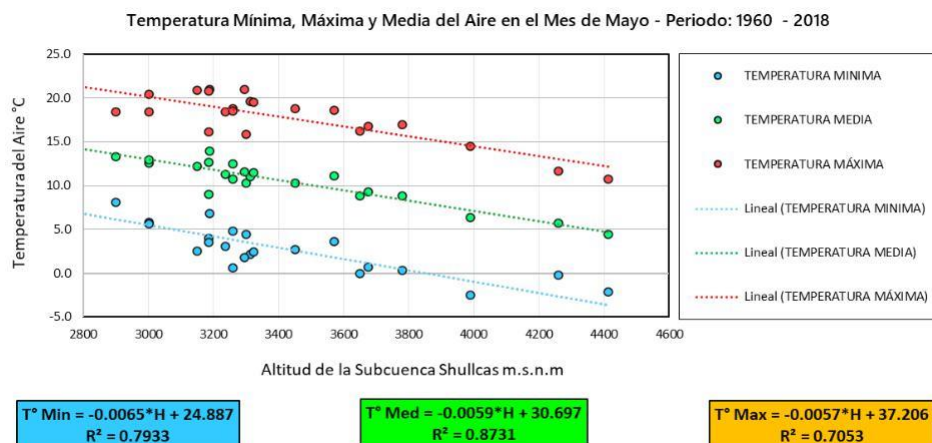
Ecuación regional de la temperatura para mes de abril



Nota: Elaboración propia.

Gráfica 19

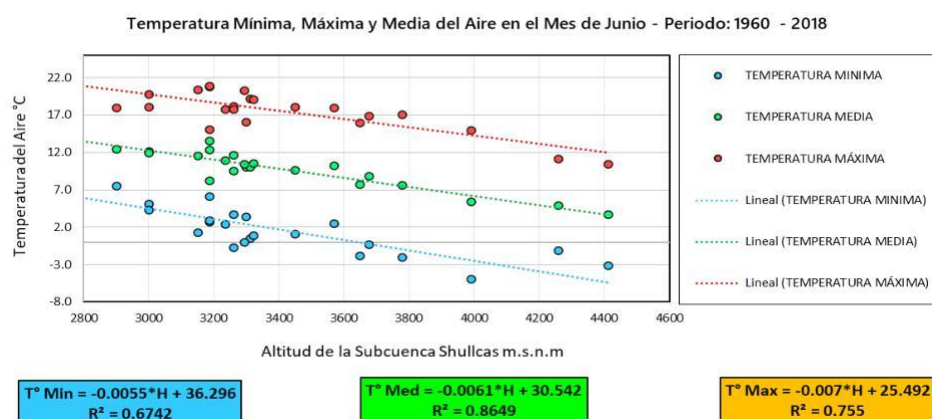
Ecuación regional de la temperatura para mes de mayo



Nota: Elaboración propia.

Gráfica 20

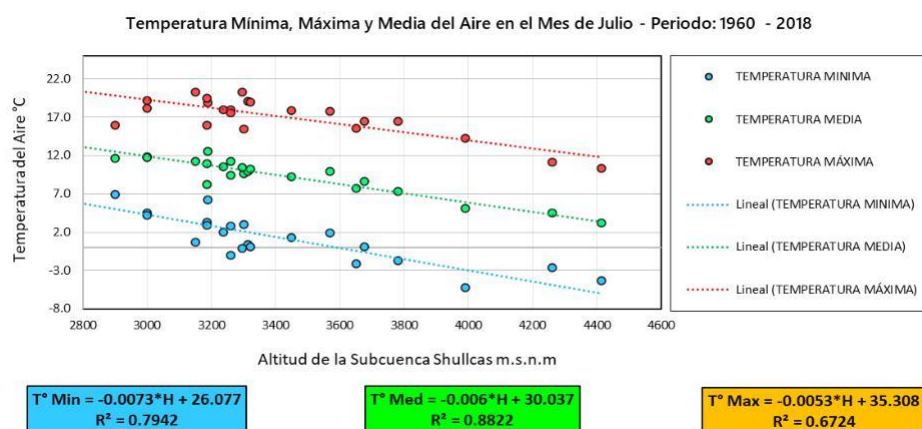
Ecuación regional de la temperatura para mes de junio



Nota: Elaboración propia.

Gráfica 21

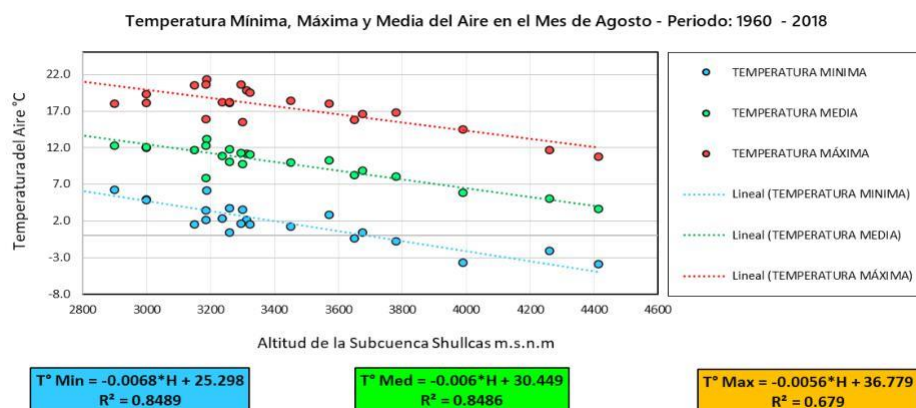
Ecuación regional de la temperatura para mes de julio



Nota: Elaboración propia.

Gráfica 22

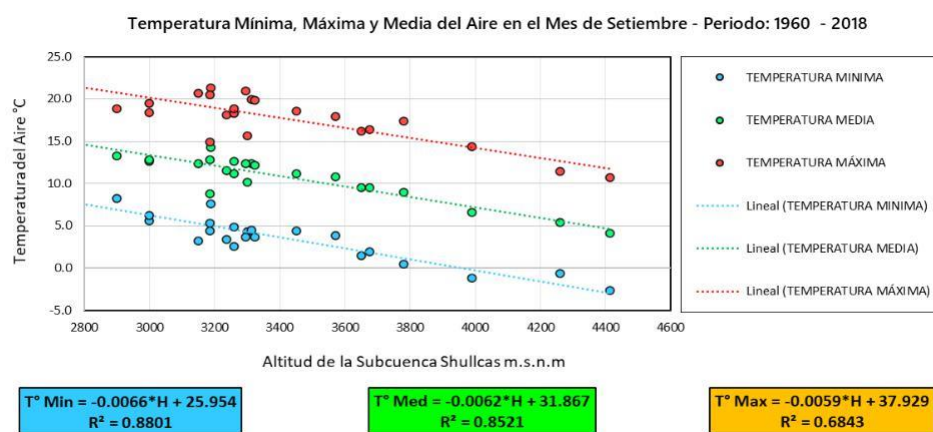
Ecuación regional de la temperatura para mes de agosto



Nota: Elaboración propia.

Gráfica 23

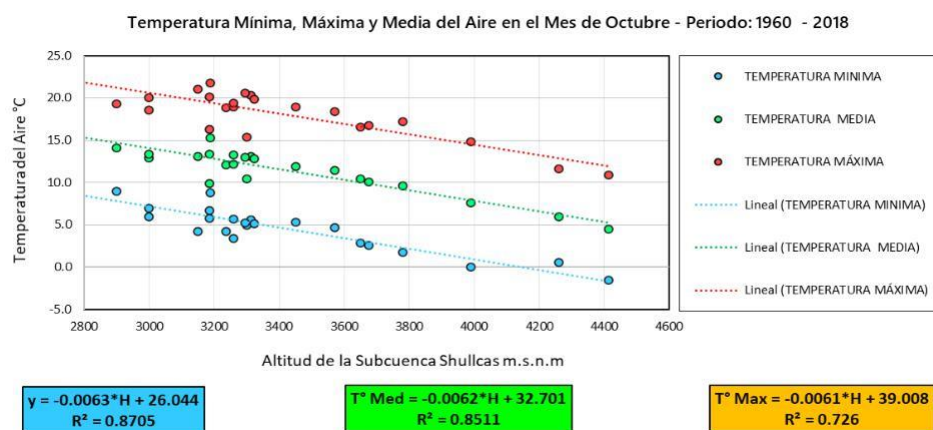
Ecuación regional de la temperatura para mes de setiembre



Nota: Elaboración propia.

Gráfica 24

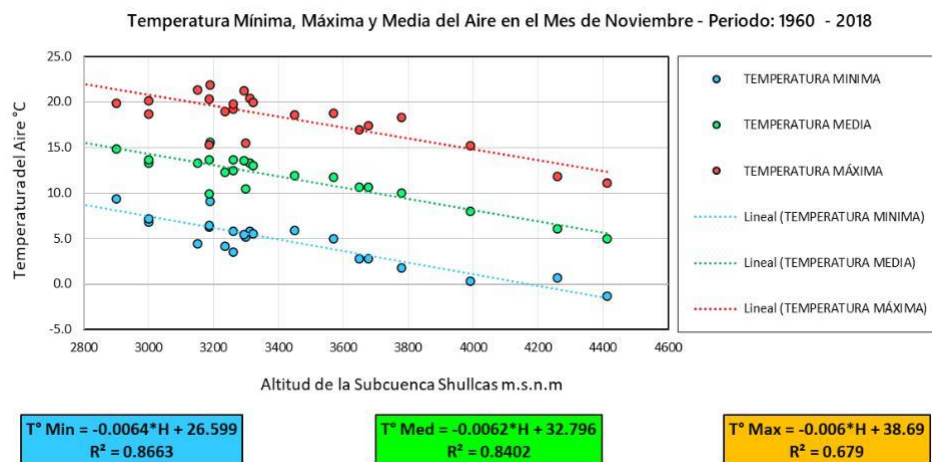
Ecuación regional de la temperatura para mes de octubre



Nota: Elaboración propia.

Gráfica 25

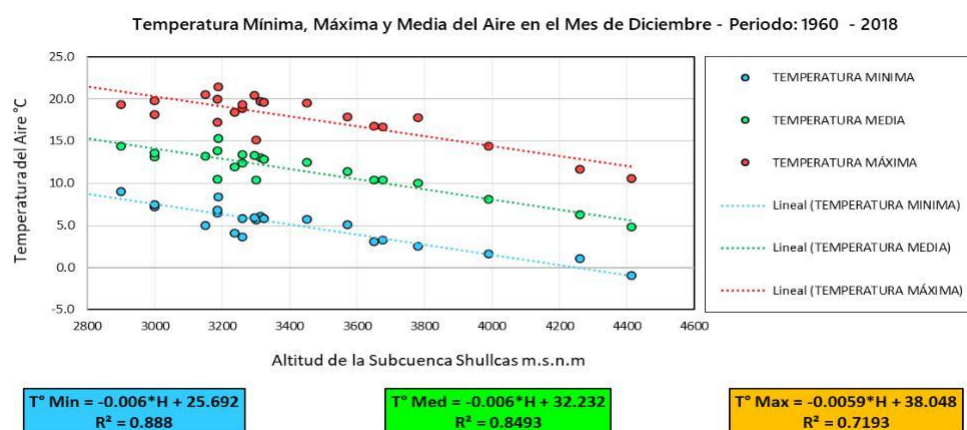
Ecuación regional de la temperatura para mes de noviembre



Nota: Elaboración propia.

Gráfica 26

Ecuación regional de la temperatura para mes de diciembre



Nota: Elaboración propia.

e. Ecuaciones regionalizadas de la temperatura máxima, mínima y media

Tabla 51*Ecuaciones empíricas de la temperatura mínima, media y máxima*

| Meses | Temperatura Mínima | | Temperatura Media | | Temperatura Máxima | |
|--------------|---|----------------|---|----------------|---|----------------|
| | Ecuación | Desviación | Ecuación | Desviación | Ecuación | Desviación |
| Enero | $T^{\circ} \text{ Min} = -0.0060 * H + 26.023$ | $R^2 = 0.9078$ | $T^{\circ} \text{ Med} = -0.0058 * H + 30.950$ | $R^2 = 0.8376$ | $T^{\circ} \text{ Max} = -0.0056 * H + 36.397$ | $R^2 = 0.7065$ |
| Febrero | $T^{\circ} \text{ Min} = -0.0060 * H + 26.061$ | $R^2 = 0.9055$ | $T^{\circ} \text{ Med} = -0.0056 * H + 30.077$ | $R^2 = 0.8720$ | $T^{\circ} \text{ Max} = -0.0053 * H + 34.684$ | $R^2 = 0.7189$ |
| Marzo | $T^{\circ} \text{ Min} = -0.0059 * H + 25.651$ | $R^2 = 0.8881$ | $T^{\circ} \text{ Med} = -0.0056 * H + 30.096$ | $R^2 = 0.8859$ | $T^{\circ} \text{ Max} = -0.0055 * H + 35.671$ | $R^2 = 0.7786$ |
| Abril | $T^{\circ} \text{ Min} = -0.0059 * H + 24.851$ | $R^2 = 0.8532$ | $T^{\circ} \text{ Med} = -0.0058 * H + 30.823$ | $R^2 = 0.8970$ | $T^{\circ} \text{ Max} = -0.0057 * H + 37.020$ | $R^2 = 0.7707$ |
| Mayo | $T^{\circ} \text{ Min} = -0.0065 * H + 24.887$ | $R^2 = 0.7933$ | $T^{\circ} \text{ Med} = -0.0059 * H + 30.697$ | $R^2 = 0.8731$ | $T^{\circ} \text{ Max} = -0.0057 * H + 37.206$ | $R^2 = 0.7053$ |
| Junio | $T^{\circ} \text{ Min} = -0.0070 * H + 25.492$ | $R^2 = 0.6742$ | $T^{\circ} \text{ Med} = -0.0061 * H + 30.542$ | $R^2 = 0.8649$ | $T^{\circ} \text{ Max} = -0.0055 * H + 36.296$ | $R^2 = 0.7550$ |
| Julio | $T^{\circ} \text{ Min} = -0.0073 * H + 26.077$ | $R^2 = 0.7942$ | $T^{\circ} \text{ Med} = -0.0060 * H + 30.037$ | $R^2 = 0.8822$ | $T^{\circ} \text{ Max} = -0.0053 * H + 35.308$ | $R^2 = 0.6790$ |
| Agosto | $T^{\circ} \text{ Min} = -0.0068 * H + 25.298$ | $R^2 = 0.8489$ | $T^{\circ} \text{ Med} = -0.0060 * H + 30.449$ | $R^2 = 0.8486$ | $T^{\circ} \text{ Max} = -0.0056 * H + 36.779$ | $R^2 = 0.6790$ |
| Septiembre | $T^{\circ} \text{ Min} = -0.0066 * H + 25.954$ | $R^2 = 0.8801$ | $T^{\circ} \text{ Med} = -0.0062 * H + 31.867$ | $R^2 = 0.8521$ | $T^{\circ} \text{ Max} = -0.0059 * H + 37.929$ | $R^2 = 0.6843$ |
| Octubre | $T^{\circ} \text{ Min} = -0.0063 * H + 26.044$ | $R^2 = 0.8705$ | $T^{\circ} \text{ Med} = -0.0062 * H + 32.701$ | $R^2 = 0.8511$ | $T^{\circ} \text{ Max} = -0.0061 * H + 39.008$ | $R^2 = 0.7260$ |
| Noviembre | $T^{\circ} \text{ Min} = -0.0064 * H + 26.599$ | $R^2 = 0.8663$ | $T^{\circ} \text{ Med} = -0.0062 * H + 32.796$ | $R^2 = 0.8402$ | $T^{\circ} \text{ Max} = -0.0060 * H + 38.690$ | $R^2 = 0.6790$ |
| Diciembre | $T^{\circ} \text{ Min} = -0.0060 * H + 25.692$ | $R^2 = 0.8880$ | $T^{\circ} \text{ Med} = -0.0060 * H + 32.232$ | $R^2 = 0.8493$ | $T^{\circ} \text{ Max} = -0.0059 * H + 38.048$ | $R^2 = 0.7193$ |
| Media | $T^{\circ} \text{ Min} = -0.006267 * H + 26.619416$ | | $T^{\circ} \text{ Med} = -0.00595 * H + 31.10558$ | | $T^{\circ} \text{ Max} = -0.0058 * H + 36.019333$ | |

Nota: *Elaboración propia.*

Por lo tanto, se genera las temperaturas en los puntos por el método de interpolación teniendo en cuenta la ecuación regional de temperatura, se procederá a calcular la temperatura máxima, mínima y media de la subcuenca Shullcas.

f. Temperatura media generada en la subcuenca Shullcas

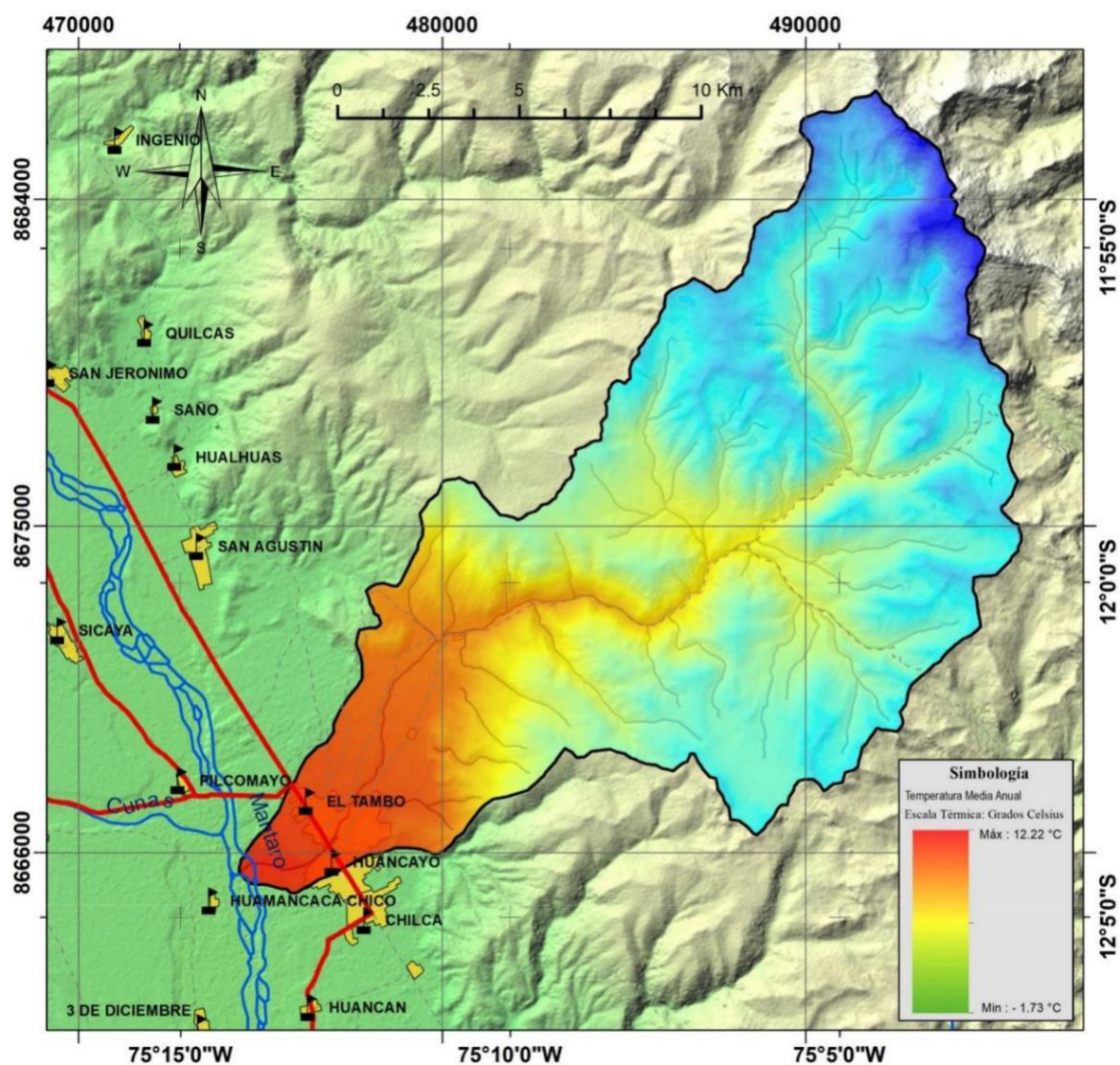
La temperatura media de la subcuenca se estimará mediante las isotermas, que se genera por la ecuación regional de la temperatura. Se genera los valores de temperatura en función de la altitud en la Subcuenca Shullcas con la fórmula de la regionalización:

$$T^{\circ} = -0.00595 * H + 31.10558$$

Ecuación 35

Figura 48

Distribución espacial de la temperatura media anual de la subcuenca Shullcas

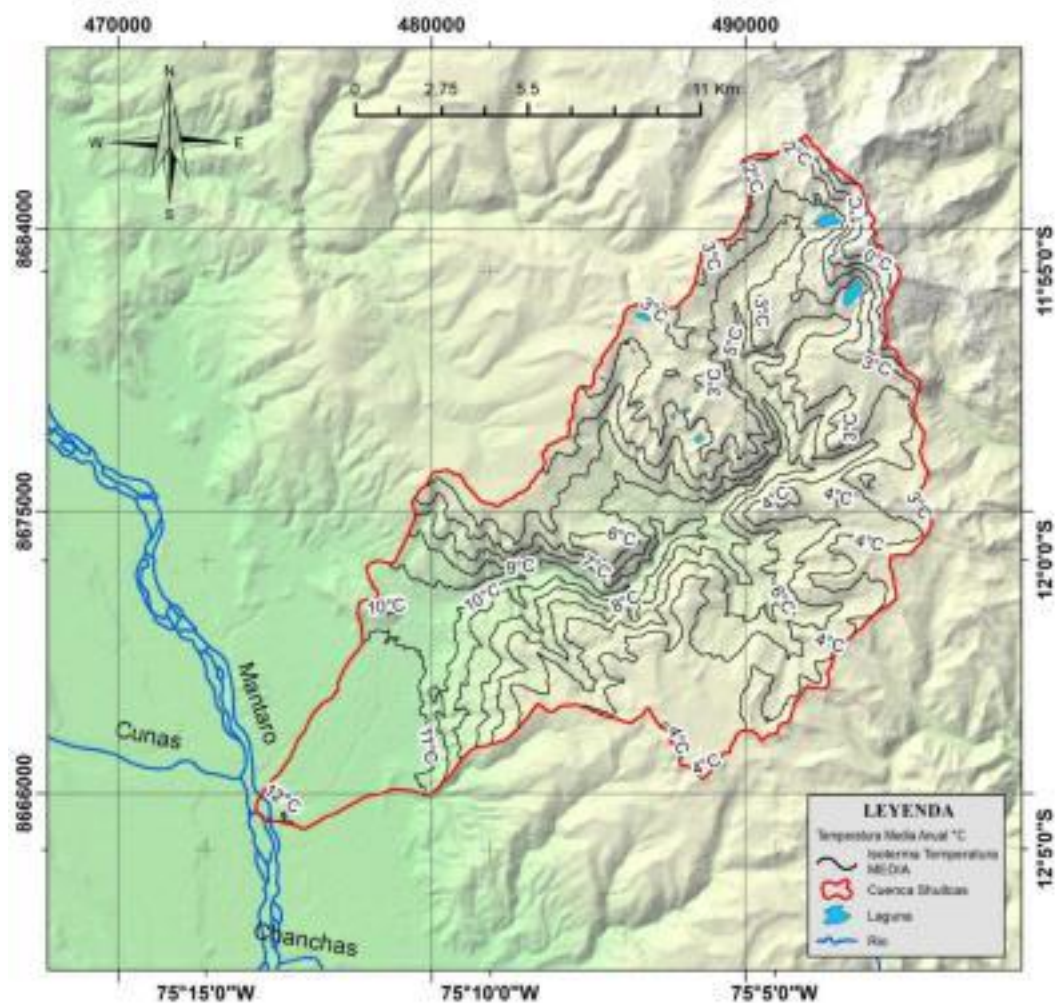


Nota: Elaboración propia.

Se va a generar las isotermas para la temperatura media en la subcuenca Shullcas, estos encierran un polígono con iguales temperaturas de un rango establecido que nos va a servir para calcular la temperatura media de la cuenca.

Figura 49

Isotermas para temperatura media de la subcuenca Shullcas



Nota: Elaboración propia.

Tabla 52

Determinación de la temperatura media mediante isotermas

| Rangos de Temperatura °C | | (1) Media | (2) Área | (1) *(2) |
|--------------------------|----------|-----------|----------------|-----------------|
| Inferior | Superior | | | |
| 12.3 | 10.0 | 10.15 | 29.48 | 298.9175 |
| 10.0 | 8.0 | 9.00 | 18.07 | 162.63 |
| 8.0 | 6.0 | 7.00 | 37.11 | 259.77 |
| 6.0 | 4.0 | 5.00 | 81.12 | 416.25 |
| 4.0 | 2.0 | 3.00 | 48.51 | 144.45 |
| 2.0 | 0.0 | 1.00 | 5.58 | 5.58 |
| 0.0 | -1.7 | -0.85 | 1.47 | -1.2495 |
| T°C Media | | | 232.073 | 1286.348 |

Nota: Elaboración propia.

$$\circ h = \frac{*}{223973} = \frac{1286.348}{223973} = 5.76^\circ$$

También podemos generar la temperatura media a diferente altitud y en diferentes meses del año en la cuenca, los cuales son:

Tabla 53

Temperatura media generada en la subcuenca Shullcas

| Altitud m.s.n.m | MESES DEL AÑO | | | | | | | | | | | | Med. Anual |
|---------------------|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | |
| 3100 | 13.0 | 12.7 | 12.7 | 12.8 | 12.4 | 11.6 | 11.4 | 11.8 | 12.6 | 13.5 | 13.6 | 13.6 | 12.7 |
| 3200 | 12.4 | 12.2 | 12.2 | 12.3 | 11.8 | 11.0 | 10.8 | 11.2 | 12.0 | 12.9 | 13.0 | 13.0 | 12.1 |
| 3300 | 11.8 | 11.6 | 11.6 | 11.7 | 11.2 | 10.4 | 10.2 | 10.6 | 11.4 | 12.2 | 12.3 | 12.4 | 11.5 |
| 3400 | 11.2 | 11.0 | 11.1 | 11.1 | 10.6 | 9.8 | 9.6 | 10.0 | 10.8 | 11.6 | 11.7 | 11.8 | 10.9 |
| 3500 | 10.7 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.0 | 9.2 | 9.0 | 9.4 | 10.2 | 11.0 | 11.1 | 11.2 | 10.3 |
| 3600 | 10.1 | 9.9 | 9.9 | 9.9 | 9.5 | 8.6 | 8.4 | 8.8 | 9.5 | 10.4 | 10.5 | 10.6 | 9.7 |
| 3700 | 9.5 | 9.4 | 9.4 | 9.4 | 8.9 | 8.0 | 7.8 | 8.2 | 8.9 | 9.8 | 9.9 | 10.0 | 9.1 |
| 3800 | 8.9 | 8.8 | 8.8 | 8.8 | 8.3 | 7.4 | 7.2 | 7.6 | 8.3 | 9.1 | 9.2 | 9.4 | 8.5 |
| 3900 | 8.3 | 8.2 | 8.3 | 8.2 | 7.7 | 6.8 | 6.6 | 7.0 | 7.7 | 8.5 | 8.6 | 8.8 | 7.9 |
| 4000 | 7.8 | 7.7 | 7.7 | 7.6 | 7.1 | 6.1 | 6.0 | 6.4 | 7.1 | 7.9 | 8.0 | 8.2 | 7.3 |
| 4100 | 7.2 | 7.1 | 7.1 | 7.0 | 6.5 | 5.5 | 5.4 | 5.8 | 6.4 | 7.3 | 7.4 | 7.6 | 6.7 |
| 4200 | 6.6 | 6.6 | 6.6 | 6.5 | 5.9 | 4.9 | 4.8 | 5.2 | 5.8 | 6.7 | 6.8 | 7.0 | 6.1 |
| 4300 | 6.0 | 6.0 | 6.0 | 5.9 | 5.3 | 4.3 | 4.2 | 4.6 | 5.2 | 6.0 | 6.1 | 6.4 | 5.5 |
| 4400 | 5.4 | 5.4 | 5.5 | 5.3 | 4.7 | 3.7 | 3.6 | 4.0 | 4.6 | 5.4 | 5.5 | 5.8 | 4.9 |
| 4500 | 4.9 | 4.9 | 4.9 | 4.7 | 4.1 | 3.1 | 3.0 | 3.4 | 4.0 | 4.8 | 4.9 | 5.2 | 4.3 |
| 4600 | 4.3 | 4.3 | 4.3 | 4.1 | 3.6 | 2.5 | 2.4 | 2.8 | 3.3 | 4.2 | 4.3 | 4.6 | 3.7 |
| 4700 | 3.7 | 3.8 | 3.8 | 3.6 | 3.0 | 1.9 | 1.8 | 2.2 | 2.7 | 3.6 | 3.7 | 4.0 | 3.1 |
| 4800 | 3.1 | 3.2 | 3.2 | 3.0 | 2.4 | 1.3 | 1.2 | 1.6 | 2.1 | 2.9 | 3.0 | 3.4 | 2.5 |
| 4900 | 2.5 | 2.6 | 2.7 | 2.4 | 1.8 | 0.7 | 0.6 | 1.0 | 1.5 | 2.3 | 2.4 | 2.8 | 2.0 |
| 5000 | 2.0 | 2.1 | 2.1 | 1.8 | 1.2 | 0.0 | 0.0 | 0.4 | 0.9 | 1.7 | 1.8 | 2.2 | 1.4 |
| 5100 | 1.4 | 1.5 | 1.5 | 1.2 | 0.6 | -0.6 | -0.6 | -0.2 | 0.2 | 1.1 | 1.2 | 1.6 | 0.8 |
| 5200 | 0.8 | 1.0 | 1.0 | 0.7 | 0.0 | -1.2 | -1.2 | -0.8 | -0.4 | 0.5 | 0.6 | 1.0 | 0.2 |
| 5300 | 0.2 | 0.4 | 0.4 | 0.1 | -0.6 | -1.8 | -1.8 | -1.4 | -1.0 | -0.2 | -0.1 | 0.4 | -0.4 |
| 5400 | -0.4 | -0.2 | -0.1 | -0.5 | -1.2 | -2.4 | -2.4 | -2.0 | -1.6 | -0.8 | -0.7 | -0.2 | -1.0 |
| 5500 | -0.9 | -0.7 | -0.7 | -1.1 | -1.8 | -3.0 | -3.0 | -2.6 | -2.2 | -1.4 | -1.3 | -0.8 | -1.6 |
| Med. Mensual | 6.0 | 6.0 | 6.0 | 5.9 | 5.3 | 4.3 | 4.2 | 4.6 | 5.2 | 6.0 | 6.1 | 6.4 | 5.5 |
| Max. Mensual | 13.0 | 12.7 | 12.7 | 12.8 | 12.4 | 11.6 | 11.4 | 11.8 | 12.6 | 13.5 | 13.6 | 13.6 | 12.7 |
| Min. Mensual | -0.9 | -0.7 | -0.7 | -1.1 | -1.8 | -3.0 | -3.0 | -2.6 | -2.2 | -1.4 | -1.3 | -0.8 | -1.6 |

Nota: *Elaboración propia.*

g. Temperatura máxima generada en la subcuenca Shullcas

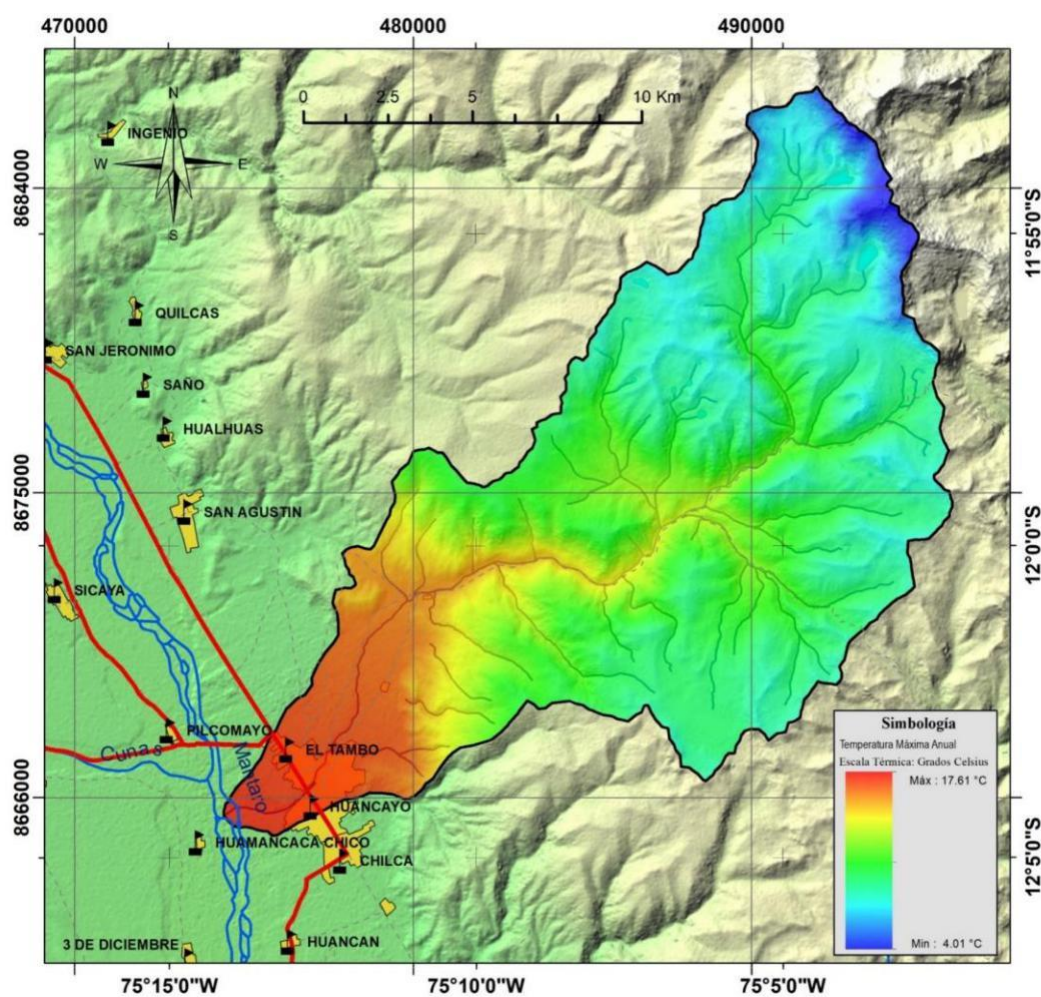
La temperatura máxima se estimará con la ecuación, con la ayuda de un modelo digital de terreno y la aplicación del GIS:

$$^{\circ} = -0.0058 * + 36.0193$$

Ecuación 36

Figura 50

Distribución espacial de la temperatura máxima anual de la subcuenca Shullcas

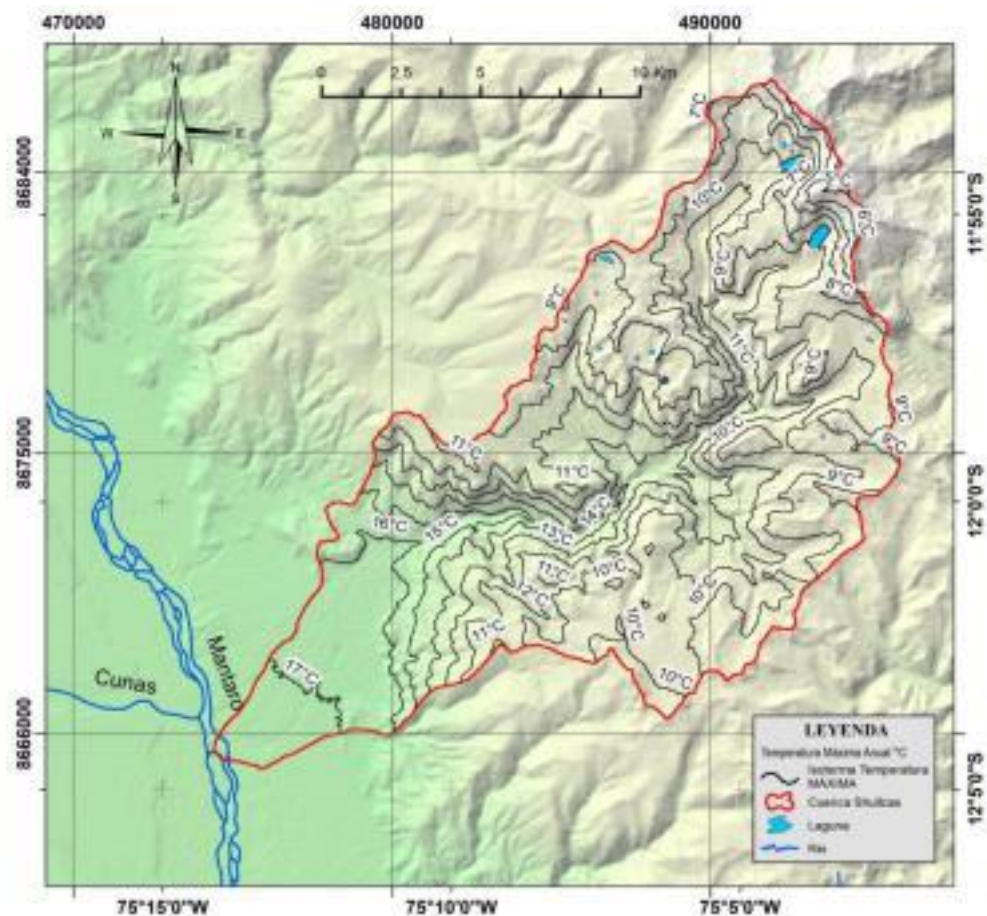


Nota: *Elaboración propia.*

Ahora generaremos las isotermas de temperaturas máximas en la subcuenca Shullcas, esto encierra temperaturas en los rangos establecidos:

Figura 51

Isotermas para temperatura máxima de la subcuenca Shullcas



Nota: Elaboración propia.

Tabla 54

Determinación de la temperatura máxima mediante isotermas

| Rangos de Temperatura °C | | (1) Media | (2) Área | (1) *(2) |
|--------------------------|----------|-----------|----------------|-----------------|
| Inferior | Superior | | | |
| 17.62 | 16.0 | 16.08 | 23.82 | 383.508 |
| 16.0 | 14.0 | 15.00 | 18.19 | 272.85 |
| 14.0 | 12.0 | 13.00 | 31.01 | 455.13 |
| 12.0 | 10.0 | 11.00 | 71.29 | 861.19 |
| 10.0 | 8.0 | 9.00 | 67.88 | 608.22 |
| 8.0 | 6.0 | 7.00 | 7.03 | 49.21 |
| 6.0 | 4.0 | 5.00 | 2.12 | 10.6 |
| T° C máxima | | | 232.073 | 2640.708 |

Nota: Elaboración propia.

$$T^{\circ} h = \frac{2640.708}{232.073} = 11.37^{\circ}$$

También podemos generar la temperatura máxima a diferente altitud y en diferentes meses del año en la cuenca, los cuales son:

Tabla 55*Temperatura máxima generada en la subcuenca Shullcas*

| Altitud m.s.n.m | MESES DEL AÑO | | | | | | | | | | | | Med. Anual |
|---------------------|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | |
| 3100 | 19.0 | 18.3 | 18.6 | 19.4 | 19.5 | 19.2 | 18.9 | 19.4 | 19.6 | 20.1 | 20.1 | 19.8 | 19.3 |
| 3200 | 18.5 | 17.7 | 18.1 | 18.8 | 19.0 | 18.7 | 18.3 | 18.9 | 19.0 | 19.5 | 19.5 | 19.2 | 18.8 |
| 3300 | 17.9 | 17.2 | 17.5 | 18.2 | 18.4 | 18.1 | 17.8 | 18.3 | 18.5 | 18.9 | 18.9 | 18.6 | 18.2 |
| 3400 | 17.4 | 16.7 | 17.0 | 17.6 | 17.8 | 17.6 | 17.3 | 17.7 | 17.9 | 18.3 | 18.3 | 18.0 | 17.6 |
| 3500 | 16.8 | 16.1 | 16.4 | 17.1 | 17.3 | 17.0 | 16.8 | 17.2 | 17.3 | 17.7 | 17.7 | 17.4 | 17.1 |
| 3600 | 16.2 | 15.6 | 15.9 | 16.5 | 16.7 | 16.5 | 16.2 | 16.6 | 16.7 | 17.0 | 17.1 | 16.8 | 16.5 |
| 3700 | 15.7 | 15.1 | 15.3 | 15.9 | 16.1 | 15.9 | 15.7 | 16.1 | 16.1 | 16.4 | 16.5 | 16.2 | 15.9 |
| 3800 | 15.1 | 14.5 | 14.8 | 15.4 | 15.5 | 15.4 | 15.2 | 15.5 | 15.5 | 15.8 | 15.9 | 15.6 | 15.4 |
| 3900 | 14.6 | 14.0 | 14.2 | 14.8 | 15.0 | 14.8 | 14.6 | 14.9 | 14.9 | 15.2 | 15.3 | 15.0 | 14.8 |
| 4000 | 14.0 | 13.5 | 13.7 | 14.2 | 14.4 | 14.3 | 14.1 | 14.4 | 14.3 | 14.6 | 14.7 | 14.4 | 14.2 |
| 4100 | 13.4 | 13.0 | 13.1 | 13.7 | 13.8 | 13.7 | 13.6 | 13.8 | 13.7 | 14.0 | 14.1 | 13.9 | 13.7 |
| 4200 | 12.9 | 12.4 | 12.6 | 13.1 | 13.3 | 13.2 | 13.0 | 13.3 | 13.1 | 13.4 | 13.5 | 13.3 | 13.1 |
| 4300 | 12.3 | 11.9 | 12.0 | 12.5 | 12.7 | 12.6 | 12.5 | 12.7 | 12.6 | 12.8 | 12.9 | 12.7 | 12.5 |
| 4400 | 11.8 | 11.4 | 11.5 | 11.9 | 12.1 | 12.1 | 12.0 | 12.1 | 12.0 | 12.2 | 12.3 | 12.1 | 11.9 |
| 4500 | 11.2 | 10.8 | 10.9 | 11.4 | 11.6 | 11.5 | 11.5 | 11.6 | 11.4 | 11.6 | 11.7 | 11.5 | 11.4 |
| 4600 | 10.6 | 10.3 | 10.4 | 10.8 | 11.0 | 11.0 | 10.9 | 11.0 | 10.8 | 10.9 | 11.1 | 10.9 | 10.8 |
| 4700 | 10.1 | 9.8 | 9.8 | 10.2 | 10.4 | 10.4 | 10.4 | 10.5 | 10.2 | 10.3 | 10.5 | 10.3 | 10.2 |
| 4800 | 9.5 | 9.2 | 9.3 | 9.7 | 9.8 | 9.9 | 9.9 | 9.9 | 9.6 | 9.7 | 9.9 | 9.7 | 9.7 |
| 4900 | 9.0 | 8.7 | 8.7 | 9.1 | 9.3 | 9.3 | 9.3 | 9.3 | 9.0 | 9.1 | 9.3 | 9.1 | 9.1 |
| 5000 | 8.4 | 8.2 | 8.2 | 8.5 | 8.7 | 8.8 | 8.8 | 8.8 | 8.4 | 8.5 | 8.7 | 8.5 | 8.5 |
| 5100 | 7.8 | 7.7 | 7.6 | 8.0 | 8.1 | 8.2 | 8.3 | 8.2 | 7.8 | 7.9 | 8.1 | 8.0 | 8.0 |
| 5200 | 7.3 | 7.1 | 7.1 | 7.4 | 7.6 | 7.7 | 7.7 | 7.7 | 7.2 | 7.3 | 7.5 | 7.4 | 7.4 |
| 5300 | 6.7 | 6.6 | 6.5 | 6.8 | 7.0 | 7.1 | 7.2 | 7.1 | 6.7 | 6.7 | 6.9 | 6.8 | 6.8 |
| 5400 | 6.2 | 6.1 | 6.0 | 6.2 | 6.4 | 6.6 | 6.7 | 6.5 | 6.1 | 6.1 | 6.3 | 6.2 | 6.3 |
| 5500 | 5.6 | 5.5 | 5.4 | 5.7 | 5.9 | 6.0 | 6.2 | 6.0 | 5.5 | 5.5 | 5.7 | 5.6 | 5.7 |
| Med. Mensual | 12.3 | 11.9 | 12.0 | 12.5 | 12.7 | 12.6 | 12.5 | 12.7 | 12.6 | 12.8 | 12.9 | 12.7 | 12.5 |
| Max. Mensual | 19.0 | 18.3 | 18.6 | 19.4 | 19.5 | 19.2 | 18.9 | 19.4 | 19.6 | 20.1 | 20.1 | 19.8 | 19.3 |
| Min. Mensual | 5.6 | 5.5 | 5.4 | 5.7 | 5.9 | 6.0 | 6.2 | 6.0 | 5.5 | 5.5 | 5.7 | 5.6 | 5.7 |

Nota: Elaboración propia.

h. Temperatura mínima generada en la subcuenca Shullcas

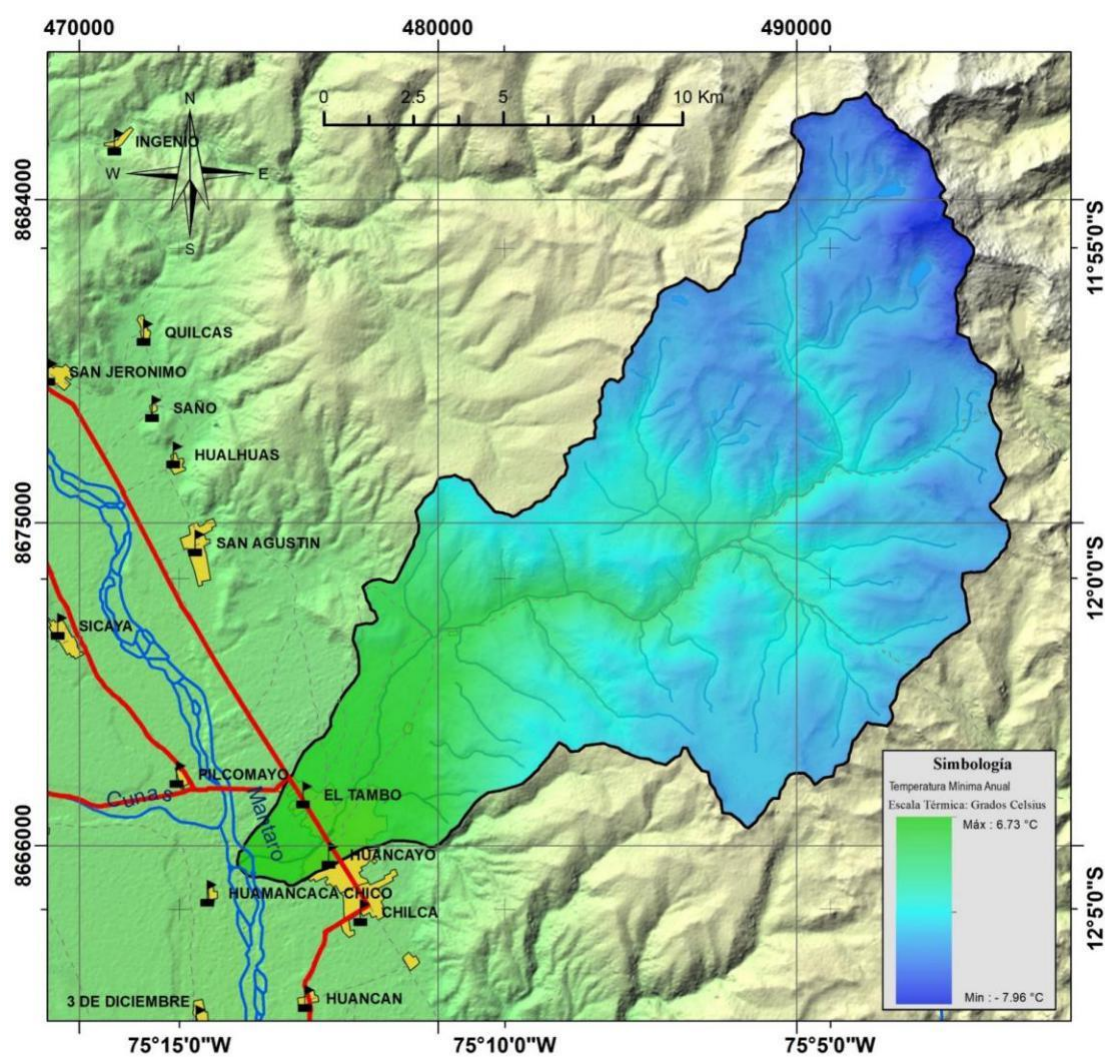
La temperatura mínima se estimará con la ecuación, con la ayuda de un modelo digital de terreno y la aplicación del GIS:

$$^{\circ} = -0.006267 * + 26.619$$

Ecuación 37

Figura 52

Distribución espacial de la temperatura mínima anual de la subcuenca Shullcas

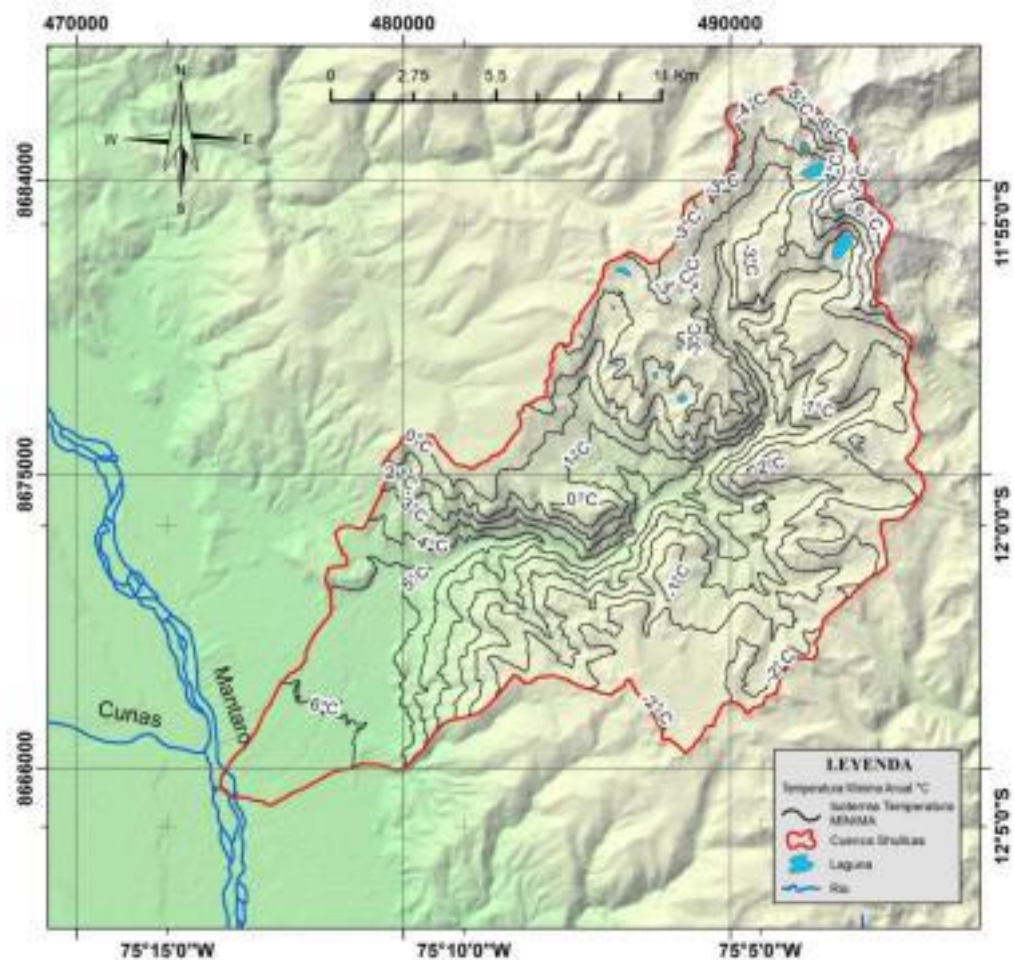


Nota: *Elaboración propia.*

Ahora generaremos las isotermas de temperaturas mínimas en la subcuenca Shullcas, esto encierra temperaturas en los rangos establecidos:

Figura 53

Isotermas para temperatura mínima de la subcuenca Shullcas



Nota: Elaboración propia.

Tabla 56:

Determinación de la temperatura mínima mediante isotermas

| Rangos de Temperatura °C | | (1) Media | (2) Área | (1) *(2) |
|--------------------------|----------|-----------|----------------|-----------------|
| Inferior | Superior | | | |
| 5.80 | 4.00 | 4.90 | 29.64 | 145.236 |
| 4.00 | 2.00 | 3.00 | 23.27 | 77.01 |
| 2.00 | 0.00 | 1.00 | 32.56 | 32.56 |
| 0.00 | -2.00 | -1.00 | 61.35 | -69.35 |
| -2.00 | -4.00 | -3.00 | 61.79 | -188.37 |
| -4.00 | -6.00 | -5.00 | 8.458 | -42.29 |
| -6.00 | -8.00 | -7.00 | 3.482 | -25.074 |
| -8.00 | -11.59 | -9.50 | 0.773 | -70.278 |
| T°C mínima | | | 232.073 | -0.30285 |

Nota: Elaboración propia.

$$^{\circ} h = \frac{-0.30285}{232.073} = -0.302^{\circ}$$

Tabla 57*Temperatura mínima generada en la subcuenca Shullcas*

| TEMPERATURA MÍNIMA GENERADA EN LA SUBCUENCA SHULLCAS POR ECUACIÓN REGIONAL | | | | | | | | | | | | | |
|--|---------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Altitud m.s.n.m | MESES DEL AÑO | | | | | | | | | | | | Med. Anual |
| | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | |
| 3100 | 7.4 | 7.5 | 7.4 | 6.6 | 4.7 | 3.8 | 3.4 | 4.2 | 5.5 | 6.5 | 6.8 | 7.1 | 5.9 |
| 3200 | 6.8 | 6.9 | 6.8 | 6.0 | 4.1 | 3.1 | 2.7 | 3.5 | 4.8 | 5.9 | 6.1 | 6.5 | 5.3 |
| 3300 | 6.2 | 6.3 | 6.2 | 5.4 | 3.4 | 2.4 | 2.0 | 2.9 | 4.2 | 5.3 | 5.5 | 5.9 | 4.6 |
| 3400 | 5.6 | 5.7 | 5.6 | 4.8 | 2.8 | 1.7 | 1.3 | 2.2 | 3.5 | 4.6 | 4.8 | 5.3 | 4.0 |
| 3500 | 5.0 | 5.1 | 5.0 | 4.2 | 2.1 | 1.0 | 0.5 | 1.5 | 2.9 | 4.0 | 4.2 | 4.7 | 3.3 |
| 3600 | 4.4 | 4.5 | 4.4 | 3.6 | 1.5 | 0.3 | -0.2 | 0.8 | 2.2 | 3.4 | 3.6 | 4.1 | 2.7 |
| 3700 | 3.8 | 3.9 | 3.8 | 3.0 | 0.8 | -0.4 | -0.9 | 0.1 | 1.5 | 2.7 | 2.9 | 3.5 | 2.1 |
| 3800 | 3.2 | 3.3 | 3.2 | 2.4 | 0.2 | -1.1 | -1.7 | -0.5 | 0.9 | 2.1 | 2.3 | 2.9 | 1.4 |
| 3900 | 2.6 | 2.7 | 2.6 | 1.8 | -0.5 | -1.8 | -2.4 | -1.2 | 0.2 | 1.5 | 1.6 | 2.3 | 0.8 |
| 4000 | 2.0 | 2.1 | 2.1 | 1.3 | -1.1 | -2.5 | -3.1 | -1.9 | -0.4 | 0.8 | 1.0 | 1.7 | 0.2 |
| 4100 | 1.4 | 1.5 | 1.5 | 0.7 | -1.8 | -3.2 | -3.9 | -2.6 | -1.1 | 0.2 | 0.4 | 1.1 | -0.5 |
| 4200 | 0.8 | 0.9 | 0.9 | 0.1 | -2.4 | -3.9 | -4.6 | -3.3 | -1.8 | -0.4 | -0.3 | 0.5 | -1.1 |
| 4300 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | -0.5 | -3.1 | -4.6 | -5.3 | -3.9 | -2.4 | -1.0 | -0.9 | -0.1 | -1.8 |
| 4400 | -0.4 | -0.3 | -0.3 | -1.1 | -3.7 | -5.3 | -6.0 | -4.6 | -3.1 | -1.7 | -1.6 | -0.7 | -2.4 |
| 4500 | -1.0 | -0.9 | -0.9 | -1.7 | -4.4 | -6.0 | -6.8 | -5.3 | -3.7 | -2.3 | -2.2 | -1.3 | -3.0 |
| 4600 | -1.6 | -1.5 | -1.5 | -2.3 | -5.0 | -6.7 | -7.5 | -6.0 | -4.4 | -2.9 | -2.8 | -1.9 | -3.7 |
| 4700 | -2.2 | -2.1 | -2.1 | -2.9 | -5.7 | -7.4 | -8.2 | -6.7 | -5.1 | -3.6 | -3.5 | -2.5 | -4.3 |
| 4800 | -2.8 | -2.7 | -2.7 | -3.5 | -6.3 | -8.1 | -9.0 | -7.3 | -5.7 | -4.2 | -4.1 | -3.1 | -5.0 |
| 4900 | -3.4 | -3.3 | -3.3 | -4.1 | -7.0 | -8.8 | -9.7 | -8.0 | -6.4 | -4.8 | -4.8 | -3.7 | -5.6 |
| 5000 | -4.0 | -3.9 | -3.8 | -4.6 | -7.6 | -9.5 | -10.4 | -8.7 | -7.0 | -5.5 | -5.4 | -4.3 | -6.2 |
| 5100 | -4.6 | -4.5 | -4.4 | -5.2 | -8.3 | -10.2 | -11.2 | -9.4 | -7.7 | -6.1 | -6.0 | -4.9 | -6.9 |
| 5200 | -5.2 | -5.1 | -5.0 | -5.8 | -8.9 | -10.9 | -11.9 | -10.1 | -8.4 | -6.7 | -6.7 | -5.5 | -7.5 |
| 5300 | -5.8 | -5.7 | -5.6 | -6.4 | -9.6 | -11.6 | -12.6 | -10.7 | -9.0 | -7.3 | -7.3 | -6.1 | -8.2 |
| 5400 | -6.4 | -6.3 | -6.2 | -7.0 | -10.2 | -12.3 | -13.3 | -11.4 | -9.7 | -8.0 | -8.0 | -6.7 | -8.8 |
| 5500 | -7.0 | -6.9 | -6.8 | -7.6 | -10.9 | -13.0 | -14.1 | -12.1 | -10.3 | -8.6 | -8.6 | -7.3 | -9.4 |
| Med. Mensual | 0.2 | 0.3 | 0.3 | -0.5 | -3.1 | -4.6 | -5.3 | -3.9 | -2.4 | -1.0 | -0.9 | -0.1 | -1.8 |
| Max. Mensual | 7.4 | 7.5 | 7.4 | 6.6 | 4.7 | 3.8 | 3.4 | 4.2 | 5.5 | 6.5 | 6.8 | 7.1 | 5.9 |
| Min. Mensual | -7.0 | -6.9 | -6.8 | -7.6 | -10.9 | -13.0 | -14.1 | -12.1 | -10.3 | -8.6 | -8.6 | -7.3 | -9.4 |

Nota: Elaboración propia.

4.5.3. Humedad relativa

a. Evaluación de la humedad relativa en la cuenca del Mantaro

La humedad en las diferentes altitudes de la cuenca Mantaro se distribuye de la siguiente manera:

Tabla 58:

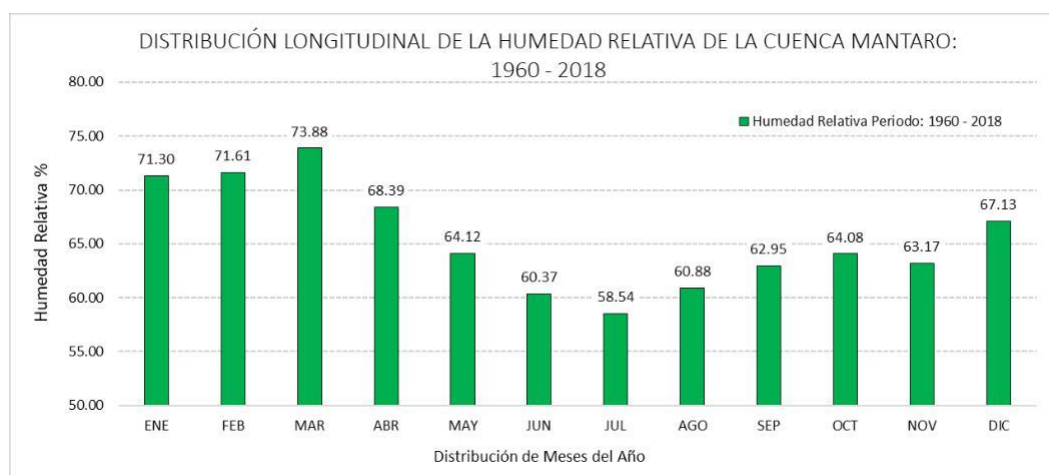
Humedad relativa promedio mensual según la altitud en la cuenca Mantaro

| HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO EN LA CUENCA DEL MANTARO PERIODO: 1960 - 2018 | | | | | | | | | | | | | |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------------|
| Altitud | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | Promedio Anual |
| 553 - 1000 | 71.6 | 73.4 | 73.7 | 71.8 | 69.7 | 69.9 | 68.8 | 67.8 | 67.7 | 69.2 | 67.8 | 70.0 | 70.1 |
| 1000 - 1500 | 71.3 | 73.4 | 73.8 | 71.4 | 68.6 | 68.3 | 67.3 | 66.5 | 66.8 | 68.5 | 66.9 | 69.3 | 69.3 |
| 1500 - 2000 | 67.5 | 70.2 | 71.2 | 67.2 | 63.1 | 61.5 | 60.4 | 60.3 | 61.1 | 62.5 | 60.6 | 64.2 | 64.1 |
| 2000 - 2500 | 65.3 | 68.1 | 69.8 | 64.5 | 59.6 | 56.9 | 55.7 | 56.4 | 57.6 | 58.6 | 56.6 | 61.1 | 60.8 |
| 2500 - 3000 | 67.6 | 70.0 | 71.8 | 66.1 | 60.6 | 57.0 | 55.8 | 57.0 | 58.9 | 60.8 | 58.8 | 63.2 | 62.3 |
| 3000 - 3500 | 68.9 | 69.6 | 72.6 | 65.7 | 60.4 | 55.4 | 53.6 | 56.6 | 59.1 | 60.0 | 58.8 | 63.6 | 62.0 |
| 3500 - 4000 | 73.1 | 72.3 | 75.2 | 68.3 | 62.9 | 57.1 | 54.5 | 58.3 | 62.2 | 63.6 | 63.3 | 67.8 | 64.9 |
| 4000 - 4500 | 76.4 | 73.5 | 77.4 | 69.8 | 65.0 | 58.2 | 55.1 | 60.9 | 65.0 | 66.0 | 66.5 | 70.9 | 67.0 |
| 4500 - 4985 | 80.1 | 74.0 | 79.7 | 70.7 | 67.3 | 59.2 | 55.6 | 64.2 | 68.1 | 67.6 | 69.3 | 74.1 | 69.2 |
| Media mensual | 71.3 | 71.6 | 73.9 | 68.4 | 64.1 | 60.4 | 58.5 | 60.9 | 63.0 | 64.1 | 63.2 | 67.1 | |

Nota: Disponibilidad hídrica actual y futura en la subcuenca del río Shullcas, 2018.

Gráfica 27

Distribución mensual promedio de la humedad relativa en la cuenca Mantaro



Nota: Adaptado Senamhi, 2018.

En cuanto a la estación meteorológica Huayao, presenta mayor influencia en la subcuenca Shullcas presenta la humedad relativa promedio de los años (1997 – 2018).

b. Regionalización de la humedad relativa

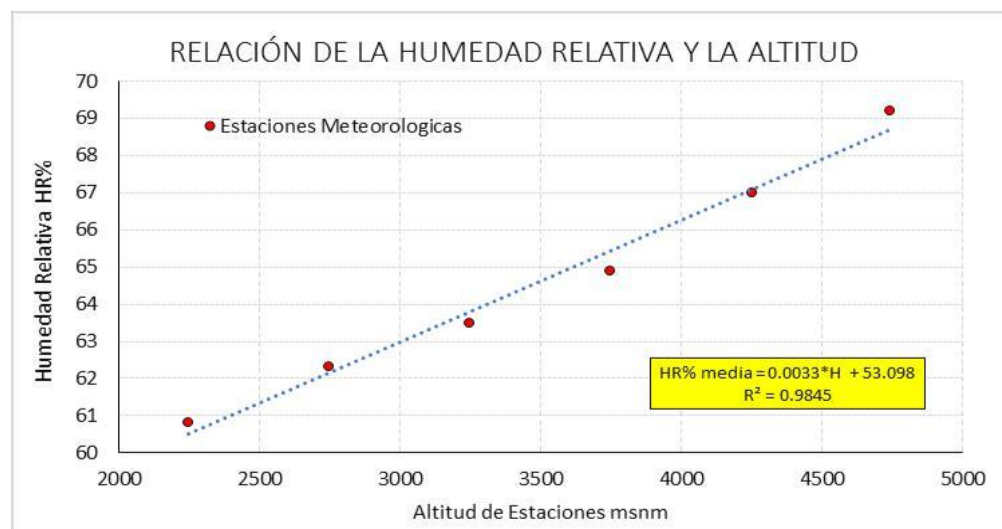
Tabla 59*Humedad relativa media mensual de la estación meteorológica Huayao*

HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO EN LA ESTACIÓN METEOROLOGICA HUAYAO: 1996 - 2006

| Estación | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | Promedio Anual |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------|
| Huayao | 65.70 | 69.48 | 70.11 | 64.39 | 58.54 | 57.63 | 56.86 | 55.23 | 56.10 | 59.97 | 59.17 | 64.60 | 61.48 |

Nota: Disponibilidad hídrica actual y futura en la subcuenca del río Shullcas, 2018.**Gráfica 28***Distribución mensual de la humedad relativa en estación Huayao***Nota:** Adaptado Senamhi, 2018.

El comportamiento de la humedad relativa frente a la altitud es de la siguiente manera:

Gráfica 29*Relación de la humedad relativa en función a la altitud***Nota:** Elaboración propia.

$$\% h = -0.0033 * + 53.098$$

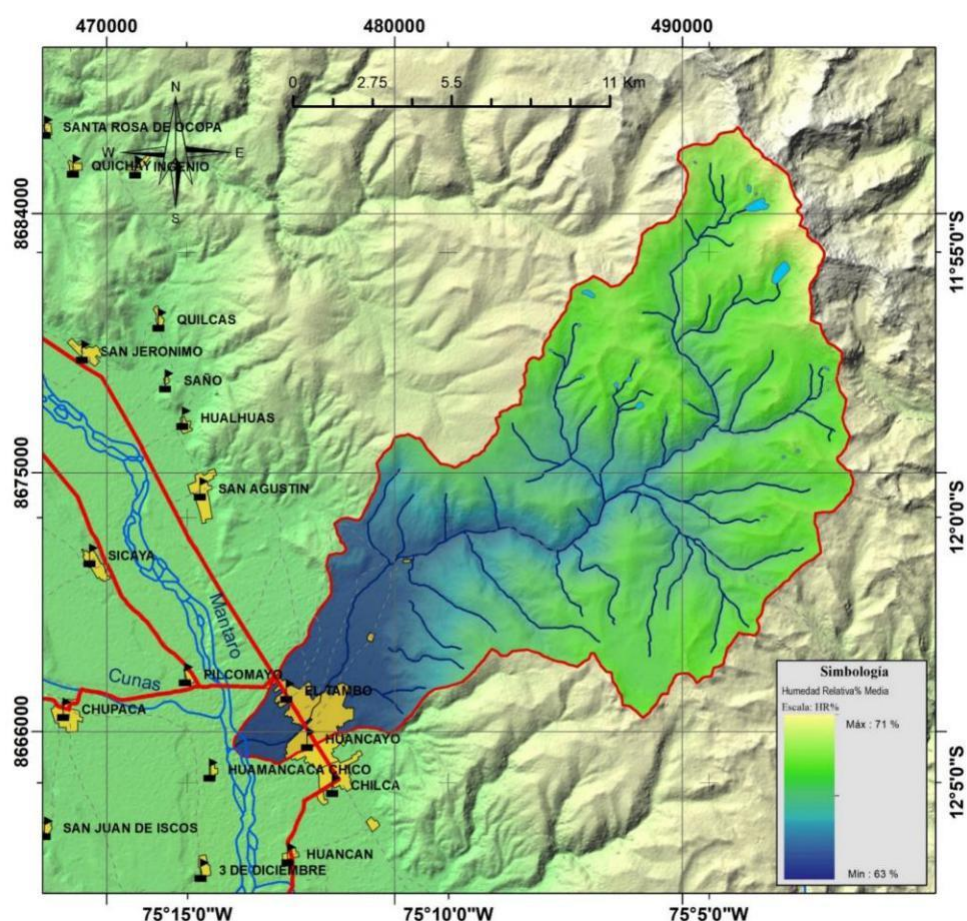
Ecuación 38

Mediante la ecuación regional se generará las isohumas en la subcuenca Shullcas.

c. Humedad relativa en la subcuenca Shullcas

Figura 54

Distribución espacial de la humedad relativa de la subcuenca Shullcas



Nota: Elaboración propia.

Tabla 60

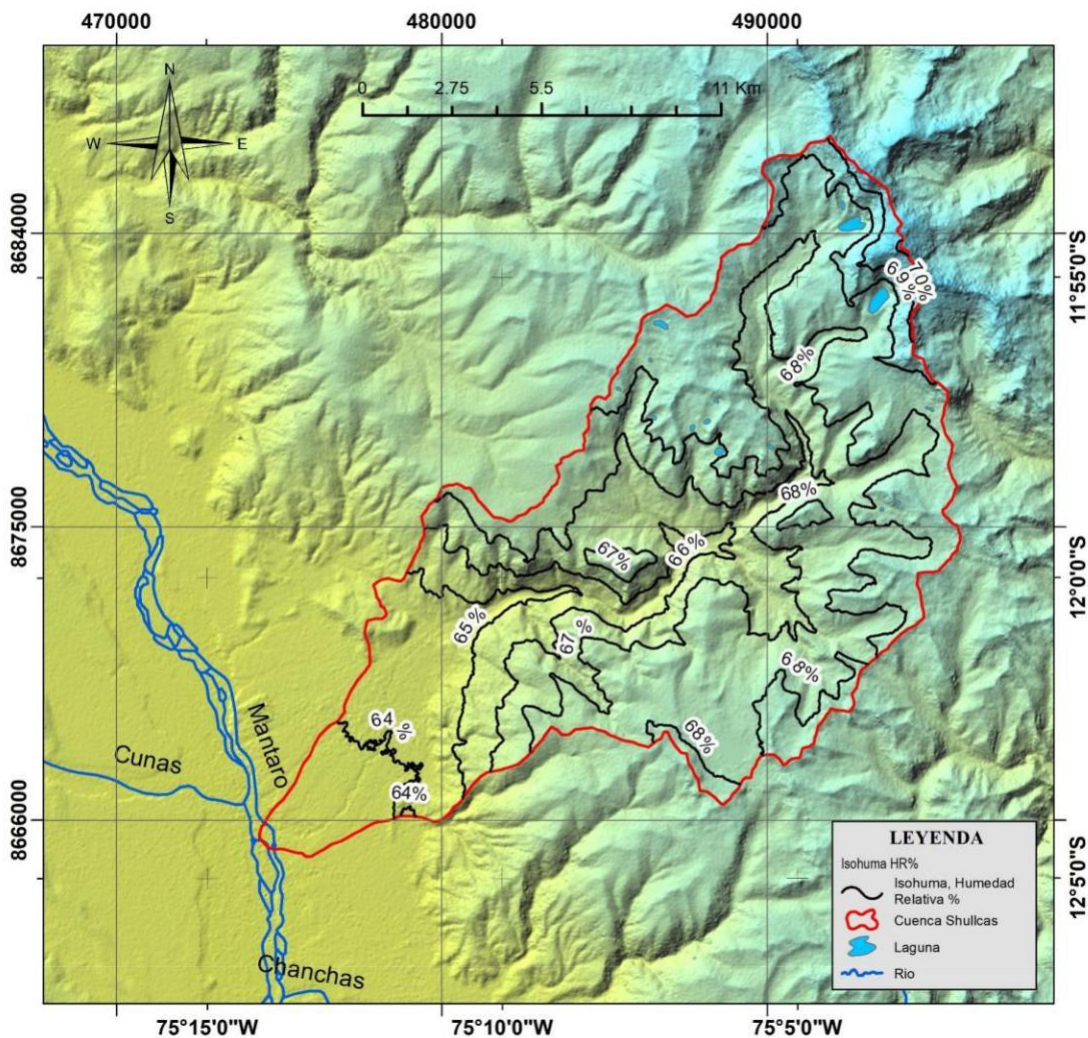
Determinación de la humedad relativa por isohumas en la subcuenca Shullcas

| Rangos de Humedad Relativa% | | (1) Media | (2) Área | (1)*(2) |
|---------------------------------|----------|-----------|----------------|-------------------|
| Inferior | Superior | | | |
| 63.00 | 64.00 | 63.5 | 2.932 | 186.182 |
| 64.00 | 65.00 | 64.5 | 7.444 | 480.138 |
| 65.00 | 66.00 | 65.5 | 58.77 | 3849.44 |
| 66.00 | 67.00 | 66.5 | 78.339 | 5209.54 |
| 67.00 | 68.00 | 67.5 | 35.136 | 2371.68 |
| 68.00 | 69.00 | 68.5 | 17.184 | 1177.1 |
| 69.00 | 70.00 | 69.5 | 21.403 | 1487.51 |
| 70.00 | 71.00 | 70.5 | 10.865 | 765.983 |
| Humedad Relativa % Media | | | 232.073 | 15527.5735 |

Nota: Elaboración propia.

$$\% = \frac{\% *}{223873} = \frac{15527.5735}{232873} = 66.91\%$$

Figura 55
Distribución de isohumas de la subcuenca Shullcas



Nota: *Elaboración propia.*

La humedad relativa promedio está regida a la altitud geográfica por la variable temperatura, morfología de la cuenca, presentando menor humedad en la parte baja del valle y alta humedad en la parte alta la cordillera. En cuanto a la distribución de la humedad en los meses del año, el trimestre con menor humedad relativa son junio, julio y agosto, por la ausencia de lluvias.

4.5.4. Evapotranspiración Potencial y Real

Se calculará la evapotranspiración de la subcuenca Shullcas teniendo en cuenta los valores históricos promedios de indicadores meteorológicos en la cuenca.

Tabla 61

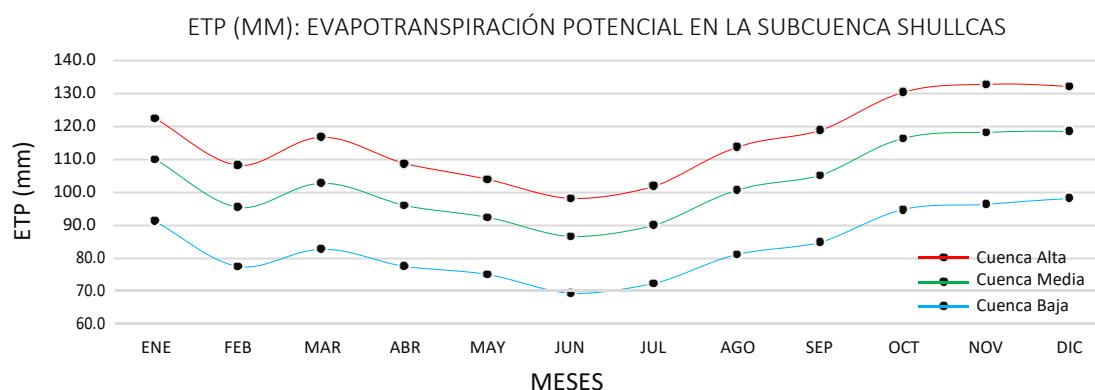
Cálculo de la evapotranspiración potencial en la subcuenca Shullcas

| Zona de la Cuenca | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | Total Anual |
|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------------|
| Baja | 122.50 | 108.30 | 116.80 | 108.70 | 103.90 | 98.10 | 101.90 | 113.80 | 118.90 | 130.40 | 132.80 | 132.20 | 1388.30 |
| Media | 109.90 | 95.50 | 102.80 | 96.00 | 92.30 | 86.60 | 90.10 | 100.70 | 105.20 | 116.30 | 118.20 | 118.60 | 1232.20 |
| Alta | 91.30 | 77.40 | 82.80 | 77.50 | 75.00 | 69.40 | 72.30 | 81.00 | 84.80 | 94.70 | 96.40 | 98.30 | 1000.90 |

Nota: Disponibilidad hídrica actual y futura en la subcuenca del río Shullcas, 2018.

Gráfica 30

Distribución mensual de la evapotranspiración potencial



Nota: Adaptado de Senamhi, 2018.

Tabla 62

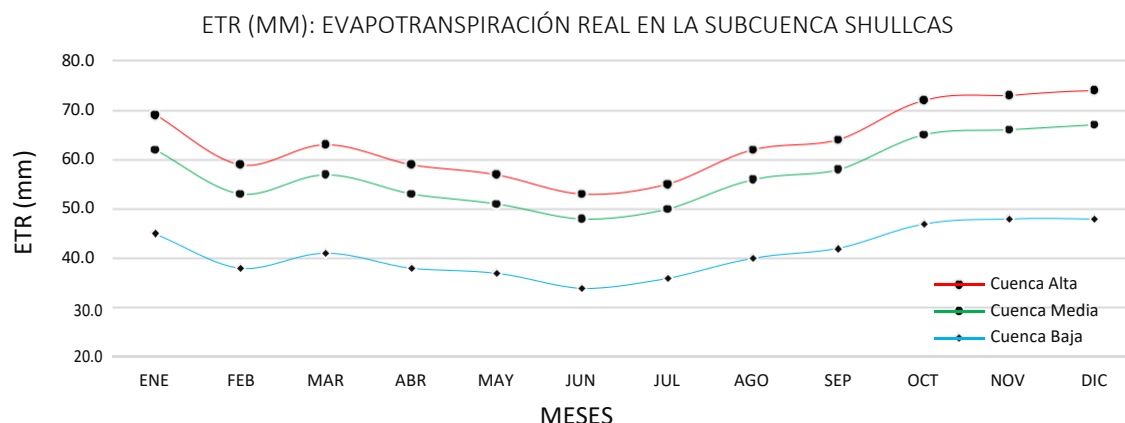
Cálculo de la evapotranspiración real en la subcuenca Shullcas

| Zona de la Cuenca | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | Total Anual |
|-------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------------|
| Baja | 69 | 59 | 63 | 59 | 57 | 53 | 55 | 62 | 64 | 72 | 73 | 74 | 758 |
| Media | 62 | 53 | 57 | 53 | 51 | 48 | 50 | 56 | 58 | 65 | 66 | 67 | 686 |
| Alta | 45 | 38 | 41 | 38 | 37 | 34 | 36 | 40 | 42 | 47 | 48 | 48 | 494 |

Nota: Disponibilidad hídrica actual y futura en la subcuenca del río Shullcas, 2018.

Gráfica 31

Distribución mensual de la evapotranspiración real ETR



Nota: Adaptado de Senamhi, 2018.

4.5.5. Evaporación

a. Estaciones meteorológicas

Para la estimación de la evaporación en la subcuenca Shullcas, se realizará la extrapolación de cuencas nivales con amplio registro de las siguientes estaciones:

Estudio hidrológico de los ríos Santa y Chancay, centrales hidroeléctricas del Cañón del Pato y Carhuaquero (Egenor, 2005).

Tabla 63:

Evaporación promedio mensual (mm) en estaciones evaluadas

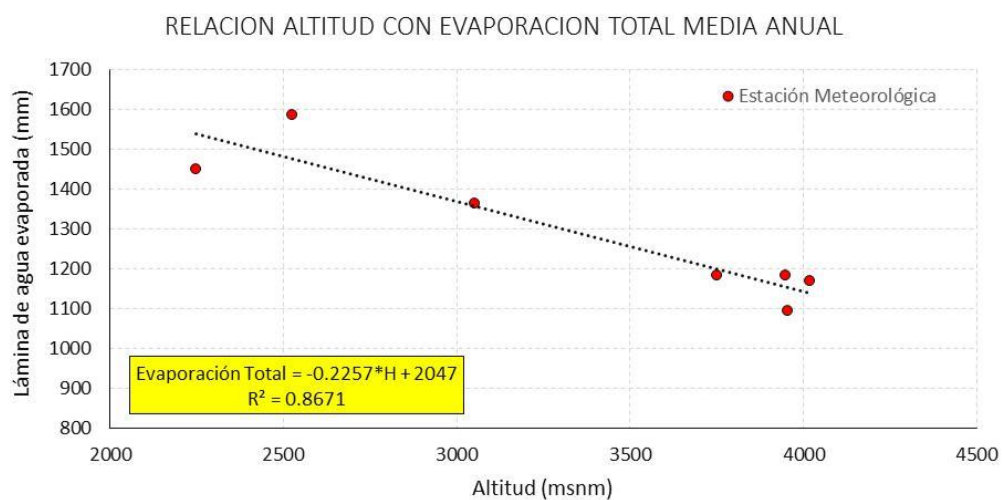
| Nombre de Estación | Altitud m.s.n.m | Meses del Año | | | | | | | | | | | | Total Anual |
|--------------------|-----------------|---------------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|
| | | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | |
| Caraz | 2247 | 113.1 | 93.2 | 98.4 | 104.6 | 124.6 | 127.7 | 141.8 | 137.5 | 128.1 | 129.3 | 125.6 | 125.2 | 1449.1 |
| Yungay * | 2527 | 116.0 | 101.0 | 98.0 | 104.0 | 145.0 | 142.0 | 152.0 | 164.0 | 164.0 | 158.0 | 128.0 | 114.0 | 1586.0 |
| Huaraz | 3052 | 93.6 | 75.6 | 73.8 | 86.6 | 109.5 | 130.5 | 160.4 | 159.3 | 134.4 | 102.9 | 122.1 | 113.9 | 1362.6 |
| Querococha | 3955 | 82.1 | 71.9 | 79.0 | 84.4 | 86.9 | 92.2 | 111.1 | 112.2 | 102.4 | 101.2 | 85.6 | 83.6 | 1092.6 |
| San Lorenzo | 3750 | 97.0 | 83.5 | 97.9 | 93.5 | 93.5 | 96.4 | 111.1 | 112.1 | 108.8 | 98.1 | 94.3 | 96.8 | 1183.0 |
| Lampas Bajo | 3950 | 93.9 | 75.3 | 83.7 | 79.8 | 90.2 | 98.8 | 107.8 | 121.2 | 110.9 | 111.0 | 103.8 | 107.0 | 1183.4 |
| Conococha | 4020 | 94.0 | 71.7 | 77.5 | 77.1 | 89.5 | 96.3 | 107.8 | 119.8 | 117.1 | 110.2 | 103.9 | 103.5 | 1167.8 |

Nota: Evaluación de Recursos Hídricos de la cuenca del río Santa (ANA, 2015).

La incidencia de rayos de sol manifiesta su intensidad según; su latitud y la estación del año.

Gráfica 32

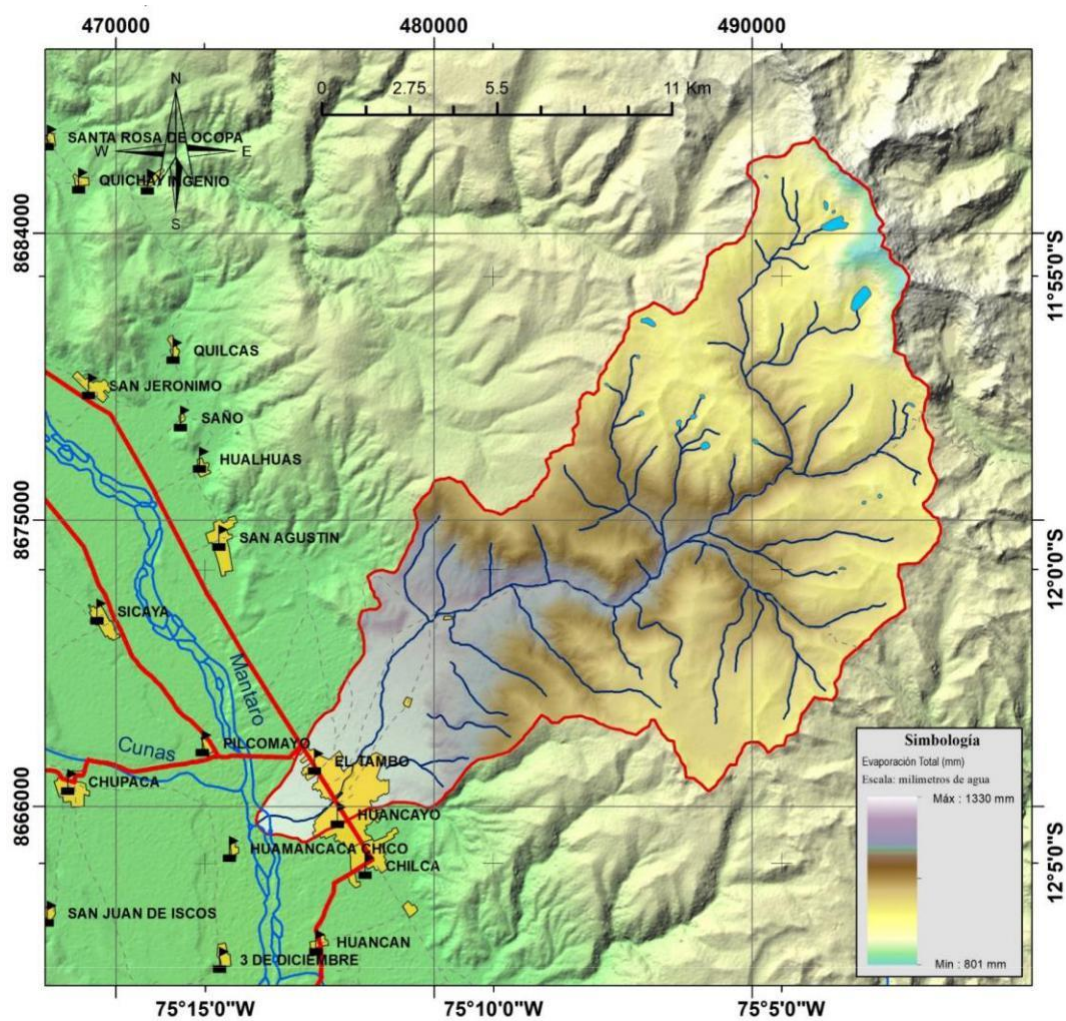
Relación de la evaporación total en función a la altitud



Nota: Elaboración propia.

Figura 56

Distribución de la evaporación de la subcuenca Shullcas



Nota: Elaboración propia.

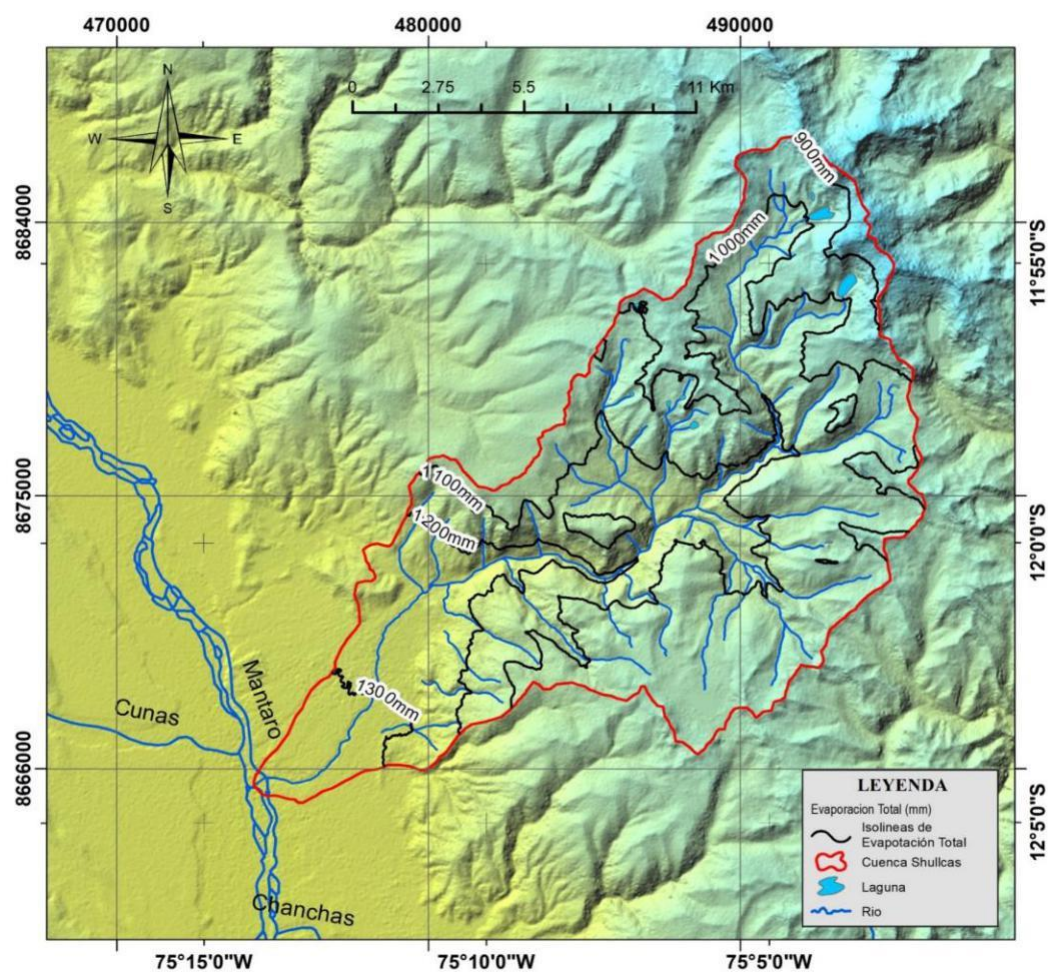
b. Estimación de la evaporación media en la subcuenca Shullcas

Tabla 64*Cálculo de la evaporación media en la subcuenca Shullcas*

| Rangos de Evaporación Total | | (1) Media | (2) Área | (1) *(2) |
|-------------------------------|----------|-----------|----------------|-------------------|
| Inferior | Superior | | | |
| 801 | 900 | 850 | 3.471 | 2950.35 |
| 900 | 1000 | 950 | 29.769 | 28280.55 |
| 1000 | 1100 | 1050 | 112.924 | 118570.2 |
| 1100 | 1200 | 1150 | 46.418 | 53380.7 |
| 1200 | 1330 | 1265 | 39.513 | 49983.95 |
| Evaporación Total (mm) | | | 232.073 | 253165.745 |

Nota: Elaboración propia.

$$= \frac{253165.745}{232.073} = 1090.8$$

Figura 57*Distribución de la isolínea de evaporación de la subcuenca Shullcas**Nota: Elaboración propia.*

4.5.6. Horas de Sol

Tabla 65

Distribución mensual de horas de sol en estación Huayao

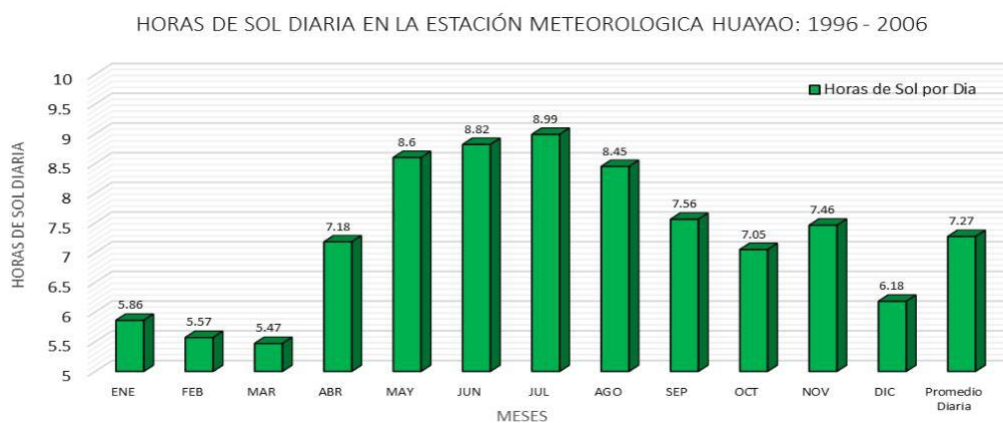
| HORAS DE SOL MENSUAL: 1996 - 2006 | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------------------|
| Estación | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | Promedio Mensual |
| Huayao | 181.70 | 155.95 | 169.55 | 215.34 | 266.53 | 264.61 | 278.76 | 261.91 | 226.76 | 218.66 | 223.77 | 185.31 | 220.74 |

| HORAS DE SOL POR DIA: 1996 - 2006 | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----------------|
| Estación | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | Promedio Diaria |
| Huayao | 5.86 | 5.57 | 5.47 | 7.18 | 8.60 | 8.82 | 8.99 | 8.45 | 7.56 | 7.05 | 7.46 | 6.18 | 7.27 |

Nota: IGP, 2015.

Gráfica 33

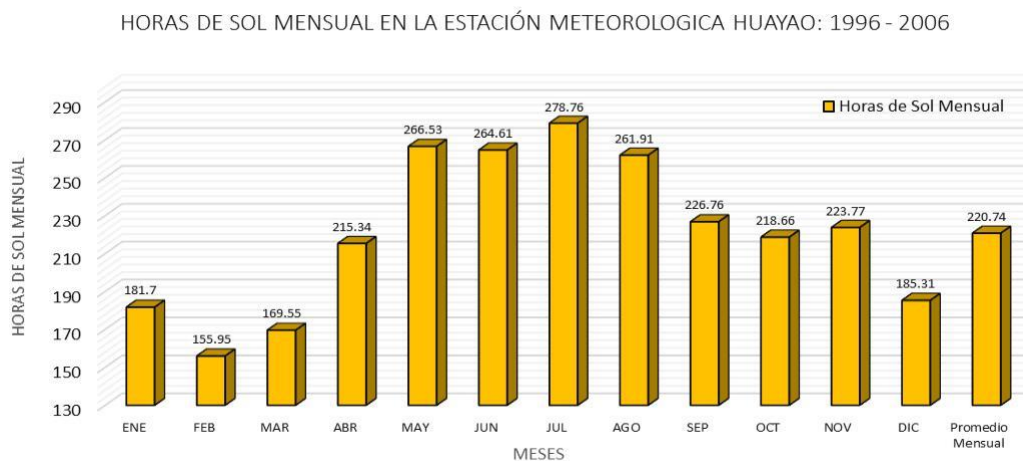
Horas de sol diaria en estación Huayao



Nota: IGP, 2015.

Gráfica 34

Horas de sol mensual en estación Huayao



Nota: IGP, 2015.

4.5.7. Viento

Tabla 66

Distribución mensual de la velocidad de viento en estación Huayao

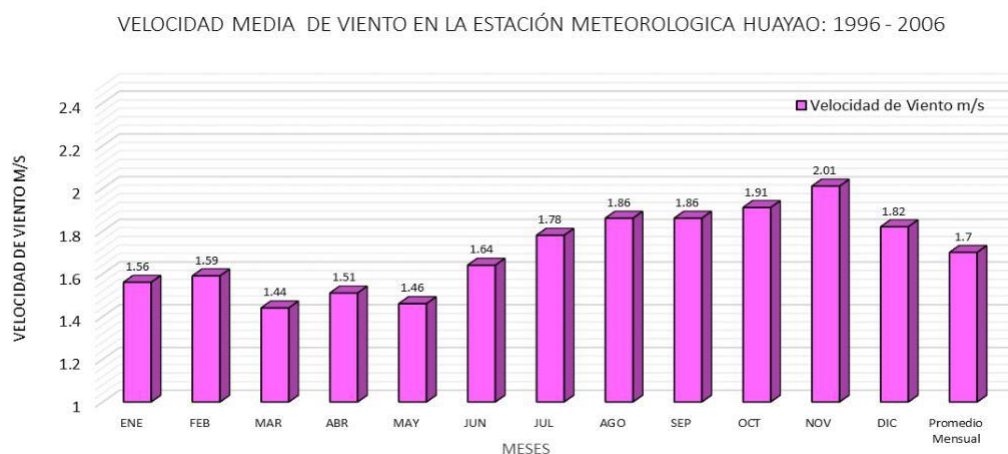
| VELOCIDAD DE VIENTO (m/s): 1996 - 2006 | | | | | | | | | | | | | |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------------------|
| Estación | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | Promedio Mensual |
| Huayao | 1.56 | 1.59 | 1.44 | 1.51 | 1.46 | 1.64 | 1.78 | 1.86 | 1.86 | 1.91 | 2.01 | 1.82 | 1.70 |

| VELOCIDAD DE VIENTO (km/día): 1996 - 2006 | | | | | | | | | | | | | |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------------------|
| Estación | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | Promedio Mensual |
| Huayao | 135.00 | 137.16 | 124.80 | 130.46 | 126.14 | 142.08 | 153.79 | 160.70 | 160.32 | 165.12 | 173.66 | 157.44 | 147.22 |

Nota: IGP, 2015.

Gráfica 35

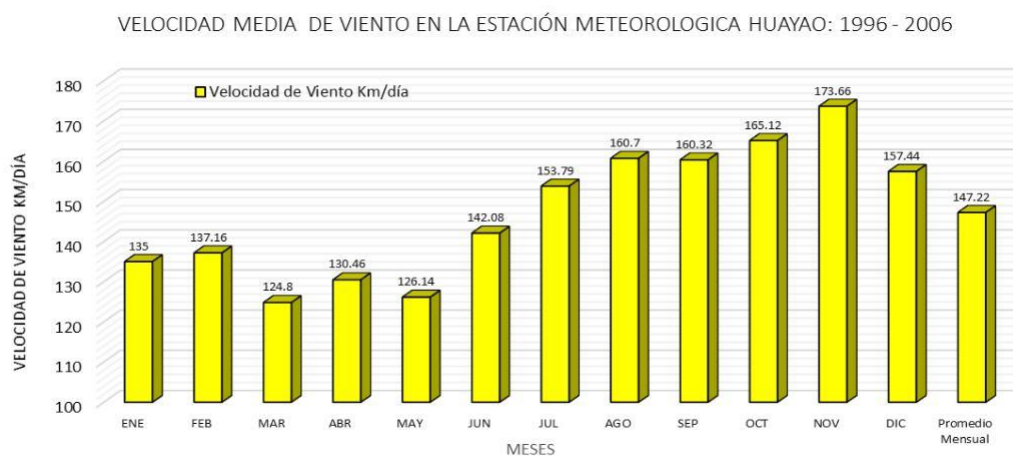
Velocidad media de viento (m/s) en la estación Huayao



Nota: IGP, 2015.

Gráfica 36

Velocidad media de viento (km/día) en la estación Huayao



Nota: IGP, 2015.

4.5.8. Efectos de El Niño sobre el clima de los Andes

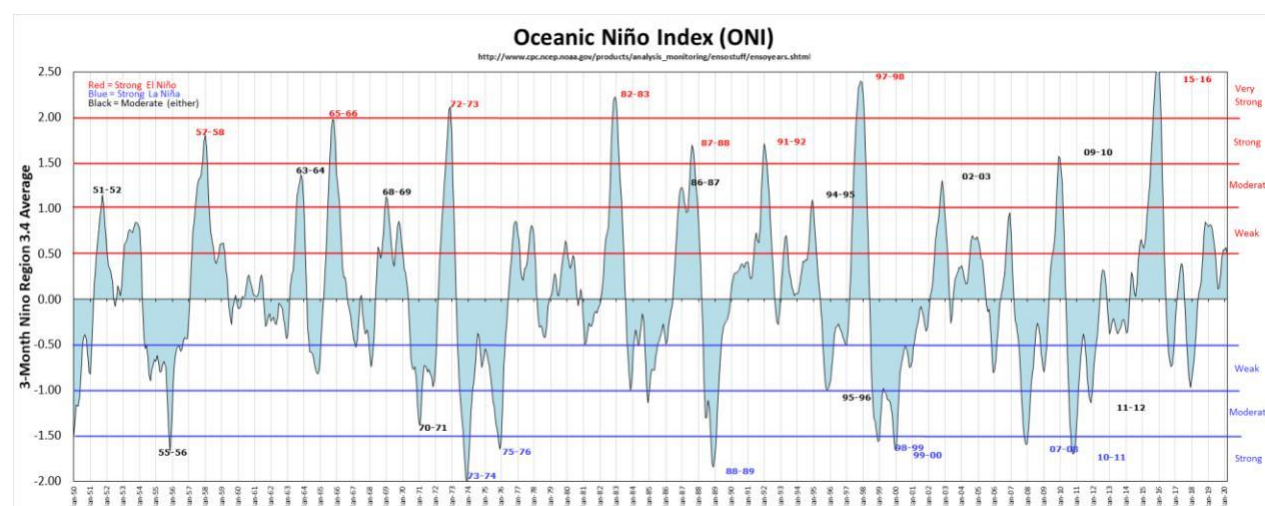
En el clima de los Andes influye el fenómeno El Niño u Oscilación Austral (ENSO), Por regla general, los fenómenos de El Niño producen precipitaciones intensas a poca altitud en la vertiente pacífica de los Andes, mientras que las zonas situadas por encima de los 2.000 metros reciben menos lluvia y experimentan temperaturas más altas que en condiciones normales (Garreaud, 2009).

Las mayores anomalías pluviales por El Niño se producen durante el verano austral (diciembre, enero y febrero) y se asocian con precipitaciones fuertes e inundaciones en la costa del norte del Perú y el sur del Ecuador (Sulca et al., 2017).

Durante los años de La Niña (cuando la temperatura de la superficie del mar del Pacífico ecuatorial es más baja de lo habitual), suele observarse la situación opuesta (Garreaud, 2009). Pese a ello, en los Andes tropicales, las variaciones del equilibrio en la masa de los glaciares están sujetas al ENSO (Veettil et al., 2017).

Figura 58

Episodios históricos de El Niño en la cordillera de los Andes



Nota: Extraído de: <https://ggweather.com/enso/oni.htm>, 2020).

Los episodios o eventos del “niño” presentan fases temporales más o menos definidas de 10 años en la actualidad este ciclo se ha acortado con eventos de hasta 8 años de periodicidad, los cuales tienen injerencia negativa con el comportamiento de la masa glaciar.

4.6. Evaluación pluviométrica

Se evaluará la precipitación total en la subcuenca Shullcas, usando el siguiente criterio: Analizar geográficamente el área de influencia de las estaciones vecinas y las que se encuentren dentro la misma bajo el criterio del Polígono de Thiessen, aproximaremos el comportamiento mediante el método de la ecuación regional de la precipitación media anual y también mediante la precipitación con el método de las isoyetas. Estos promedios nos servirán para hallar la precipitación por el método adimensionales (K).

4.6.1. Evaluación de estaciones pluviométricas

Las estaciones que se encuentran alrededor de la subcuenca Shullcas son:

Tabla 67

Estaciones pluviométricas de con influencia a la subcuenca Shullcas - regionalización

| Ítem | Nombre | Coordenada UTM - WGS-84 | | | Variables | | Fecha de Observación | | | Precipitación Anual mm |
|------|---------------|-------------------------|--------|---------|-------------|---------------|----------------------|--------|------|------------------------|
| | | Norte | Este | Altitud | Temperatura | Precipitación | Inicio | Fin | Años | |
| 1 | Huaytapallana | 8678975 | 495645 | 4510 | SI | SI | ago-65 | jun-04 | 39 | 853.7 |
| 2 | Acostambo | 8633637 | 494564 | 3650 | SI | SI | jun-62 | jun-04 | 42 | 721.4 |
| 3 | Ingenio | 8686701 | 470595 | 3450 | SI | SI | ago-63 | dic-81 | 19 | 754.6 |
| 4 | Jauja | 8697730 | 448795 | 3322 | SI | SI | ene-35 | dic-02 | 68 | 704.5 |
| 5 | Huayao | 8669003 | 465170 | 3308 | SI | SI | ene-22 | dic-18 | 81 | 752.0 |
| 6 | Santa Ana | 8673437 | 476051 | 3295 | SI | SI | ene-92 | nov-18 | 26 | 646.3 |
| 7 | Angasmayo | 8670097 | 456461 | 3280 | SI | SI | ene-64 | jun-04 | 40 | 651.3 |

Nota: Senamhi, 2018.

4.6.2. Regionalización de la precipitación en función a la altura

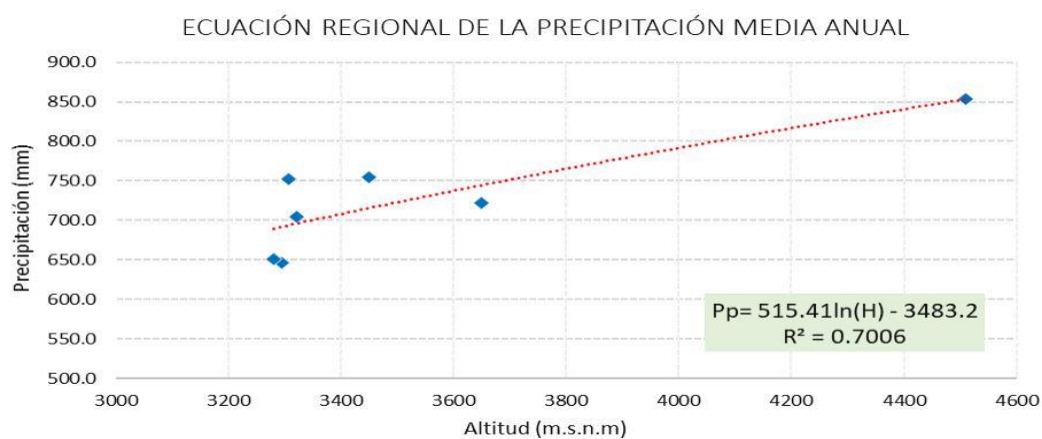
Las estaciones seleccionadas denotan influencia directa a la subcuenca Shullcas y se utilizara para la correlación numérica de la precipitación total en función a la altura.

El modelo que mejor se ajusta mejor es la función logarítmica, ya que tiene un coeficiente de correlación siendo $R^2 = 0.70$.

Esta ecuación nos servirá para generar los valores de precipitación anual total dentro de la cuenca del Shullcas, el método regional nos permite aplicar la interpolación según demande el área y las alturas de la subcuenca.

Gráfica 37

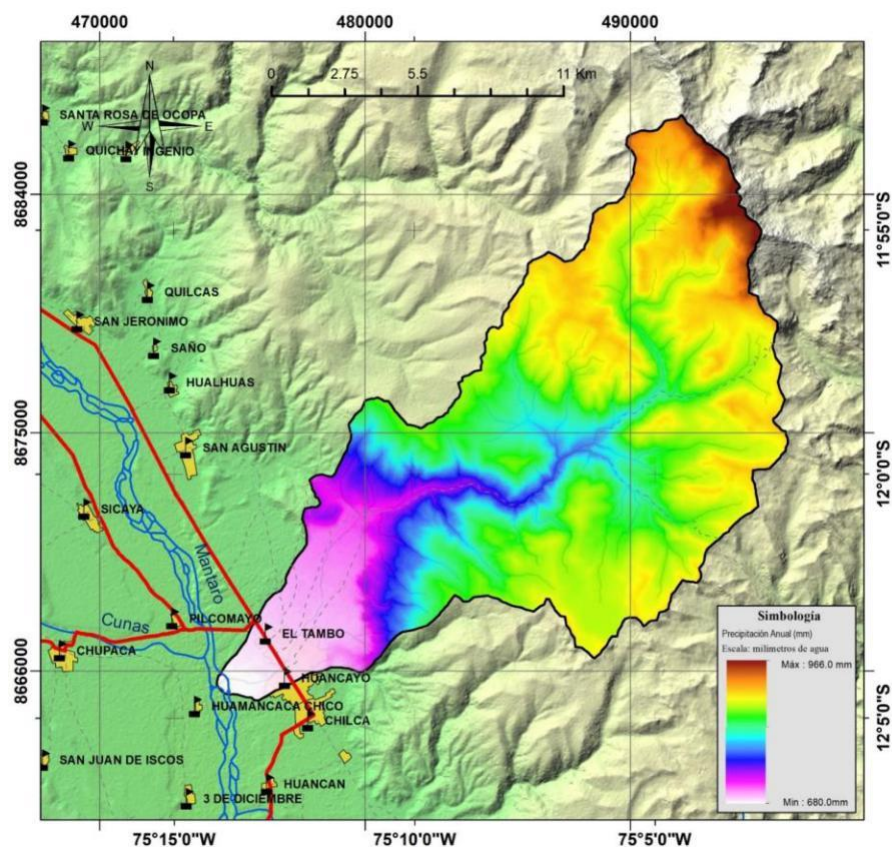
Ecuación regional de la precipitación media anual



Nota: Elaboración propia.

Figura 59

Distribución de la precipitación generada en la subcuenca Shullcas



Nota: Elaboración propia.

Tabla 68*Precipitación generada por el método regional en la subcuenca Shullcas*

| Rango de Cotas | | Cota media (m.s.n.m) | Área Parcial (Km ²) | Área Porcentaje | Precipitación Generada (mm) | A*Pp (mm * Km ²) |
|----------------|----------|-------------------------|------------------------------------|-----------------|--------------------------------|---------------------------------|
| Inferior | Superior | | | | | |
| 3140 | 3200 | 3170 | 1.742 | 0.751% | 671.771 | 1170.225 |
| 3200 | 3300 | 3250 | 18.932 | 8.158% | 684.617 | 12961.164 |
| 3300 | 3400 | 3350 | 11.046 | 4.760% | 700.236 | 7734.811 |
| 3400 | 3500 | 3450 | 5.584 | 2.406% | 715.397 | 3994.775 |
| 3500 | 3600 | 3550 | 4.373 | 1.884% | 730.124 | 3192.831 |
| 3600 | 3700 | 3650 | 5.744 | 2.475% | 744.441 | 4276.072 |
| 3700 | 3800 | 3750 | 5.453 | 2.350% | 758.372 | 4135.404 |
| 3800 | 3900 | 3850 | 6.535 | 2.816% | 771.937 | 5044.605 |
| 3900 | 4000 | 3950 | 8.097 | 3.489% | 785.153 | 6357.383 |
| 4000 | 4100 | 4050 | 10.948 | 4.718% | 798.039 | 8736.929 |
| 4100 | 4200 | 4150 | 13.873 | 5.978% | 810.610 | 11245.598 |
| 4200 | 4300 | 4250 | 17.501 | 7.541% | 822.883 | 14401.269 |
| 4300 | 4400 | 4350 | 19.310 | 8.321% | 834.869 | 16121.330 |
| 4400 | 4500 | 4450 | 30.096 | 12.968% | 846.584 | 25478.788 |
| 4500 | 4600 | 4550 | 30.113 | 12.976% | 858.038 | 25838.095 |
| 4600 | 4700 | 4650 | 22.471 | 9.683% | 869.243 | 19532.757 |
| 4700 | 4800 | 4750 | 9.878 | 4.256% | 880.209 | 8694.709 |
| 4800 | 4900 | 4850 | 3.727 | 1.606% | 890.948 | 3320.562 |
| 4900 | 5000 | 4950 | 1.951 | 0.841% | 901.466 | 1758.761 |
| 5000 | 5100 | 5050 | 1.564 | 0.674% | 911.775 | 1426.016 |
| 5100 | 5200 | 5150 | 1.450 | 0.625% | 921.881 | 1336.728 |
| 5200 | 5300 | 5250 | 0.944 | 0.407% | 931.793 | 879.613 |
| 5300 | 5400 | 5350 | 0.649 | 0.280% | 941.518 | 611.045 |
| 5400 | 5500 | 5450 | 0.090 | 0.039% | 951.063 | 85.596 |
| Suma | | | 232.071 | 100.000% | | 188335.065 |

Nota: Elaboración propia.

$$= \frac{(\quad * \quad)}{\quad}$$

Ecuación 40

$$= \frac{(\quad * \quad)}{\quad} = \frac{188335.065}{232.071} = 811.541$$

232.071

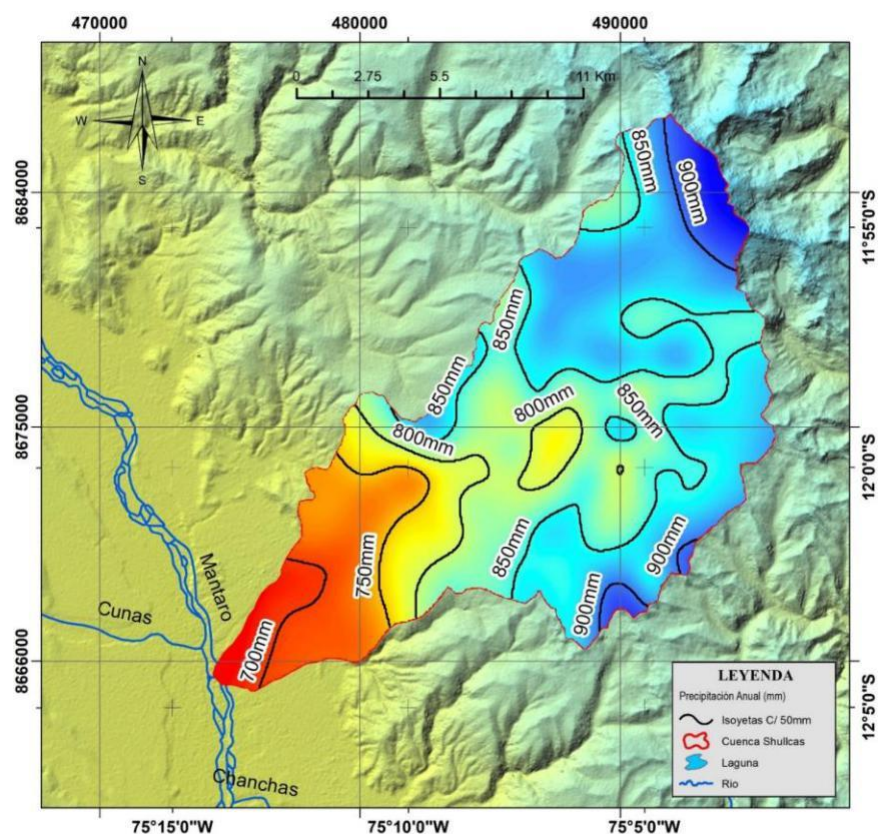
Según el método regional se determinó la precipitación media en la subcuenca Shullcas dando un valor de 811.54 mm.

4.6.3. Determinación de la precipitación por el método de las isoyetas

Teniendo las estaciones de influencia, se generará más puntos de extrapolación de precipitación con la ecuación calculada y mediante el método de interpolación SPLINE se genera las isoyetas en el programa ARCGIS.

Figura 60

Distribución de isoyetas en la subcuenca Shullcas



Nota: Elaboración propia.

Tabla 69

Determinación de precipitación por el método de las isoyetas

| Precipitación (mm) | | | Área Parcial | Área % | Pp * Ar Km x mm |
|--------------------|----------|----------|----------------|----------------|--------------------|
| Inferior | Superior | Pp Media | | | |
| 667 | 700 | 683.50 | 11.913 | 5.13% | 8142.529 |
| 700 | 750 | 725.00 | 29.943 | 12.90% | 21708.885 |
| 750 | 800 | 775.00 | 16.594 | 7.15% | 12860.395 |
| 800 | 850 | 825.00 | 76.853 | 33.12% | 63403.648 |
| 850 | 900 | 875.00 | 87.083 | 37.53% | 76197.654 |
| 900 | 950 | 925.00 | 9.679 | 4.17% | 8953.144 |
| TOTAL | | | 232.065 | 100.00% | 191266.254 |

Nota: Elaboración propia.

$$= \frac{(*)}{232.065} = \frac{191266.254}{232.065} = 824.191$$

Con los valores obtenidos en ambos métodos se promediará de la siguiente manera: 811.541 y 826.775, obteniéndose el valor de 819.158 mm de precipitación media anual para la subcuenca Shullcas.

4.6.4. Determinación de precipitación por el método adimensional (K)

Se genera la precipitación de la subcuenca de Shullcas mediante el método adimensional (K), mediante el uso de la estación Huayao.

$$= \frac{\text{---}}{(1985-2015)} = \frac{\frac{824.191}{771.3}}{771.3} = 1.068$$

La constante $K = 1.062$, se multiplicará a la precipitación total anual de cada año.

$$(1985) = \text{---} * (1985) = 1.068 * 810.8 = 861.1$$

Ahora se determinará los K mensuales, de la siguiente forma:

$$= \frac{\text{---}}{(1985)} = \frac{77.0}{810.8} = 0.095$$

Al tener la constante adimensional se va a generar las precipitaciones medias mensuales como se muestra a continuación.

$$('85) = \text{---} * ('85) = 0.095 * 861.1 = 81.78$$

Ahora se realizará la precipitación media mensual generada para la subcuenca Shullcas en los años 1985 al 2015.

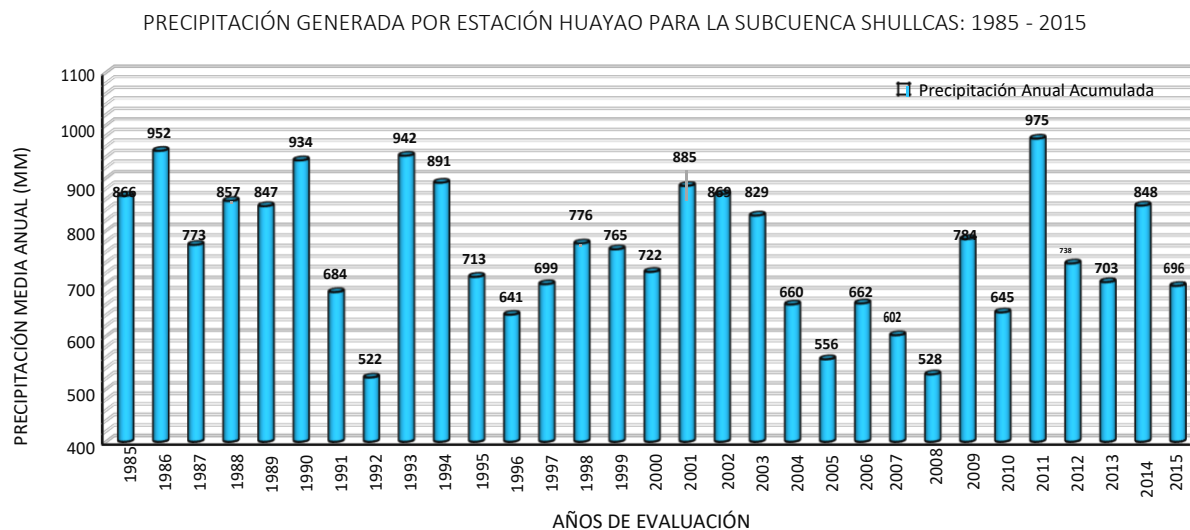
Tabla 70*Precipitación generada para subcuenca Shullcas a partir de estación Huayao (1985 – 2015)*

| AÑO | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 1985 | 81.8 | 171.5 | 85.5 | 59.0 | 20.3 | 5.9 | 10.2 | 10.7 | 95.3 | 80.8 | 94.6 | 145.4 | 861.1 |
| 1986 | 166.7 | 237.7 | 167.4 | 134.6 | 12.0 | 0.0 | 6.8 | 22.0 | 43.4 | 34.8 | 37.8 | 82.6 | 945.9 |
| 1987 | 165.7 | 155.8 | 72.3 | 77.1 | 15.1 | 16.2 | 12.4 | 6.4 | 42.4 | 35.9 | 43.9 | 125.4 | 768.6 |
| 1988 | 222.4 | 136.8 | 93.1 | 56.9 | 27.1 | 1.1 | 0.0 | 9.1 | 28.7 | 73.0 | 31.6 | 171.5 | 851.3 |
| 1989 | 102.4 | 200.5 | 154.0 | 94.3 | 20.2 | 15.9 | 0.3 | 18.3 | 14.3 | 130.3 | 47.9 | 43.1 | 841.6 |
| 1990 | 126.4 | 143.8 | 106.4 | 43.5 | 21.1 | 66.8 | 10.5 | 22.8 | 64.7 | 79.4 | 141.1 | 101.1 | 927.8 |
| 1991 | 75.3 | 57.6 | 173.0 | 86.9 | 36.3 | 17.6 | 1.4 | 0.0 | 60.7 | 60.7 | 69.1 | 40.9 | 679.6 |
| 1992 | 82.2 | 108.5 | 91.3 | 24.5 | 13.0 | 12.4 | 4.1 | 15.5 | 1.0 | 55.5 | 42.8 | 67.8 | 518.7 |
| 1993 | 148.4 | 153.5 | 113.7 | 109.2 | 19.6 | 1.1 | 3.8 | 26.4 | 33.6 | 69.8 | 115.8 | 141.8 | 936.6 |
| 1994 | 128.5 | 210.2 | 135.9 | 96.3 | 29.9 | 1.6 | 1.4 | 17.9 | 17.5 | 62.2 | 65.5 | 118.5 | 885.6 |
| 1995 | 73.2 | 139.4 | 133.1 | 20.8 | 28.5 | 2.8 | 9.8 | 17.5 | 38.8 | 80.7 | 59.5 | 104.4 | 708.4 |
| 1996 | 128.8 | 120.9 | 111.7 | 40.0 | 4.9 | 1.4 | 0.0 | 17.3 | 24.1 | 62.3 | 34.2 | 91.3 | 637.0 |
| 1997 | 110.3 | 146.5 | 75.0 | 39.8 | 3.1 | 0.3 | 1.4 | 19.3 | 49.5 | 36.5 | 79.5 | 133.3 | 694.6 |
| 1998 | 162.9 | 133.7 | 65.1 | 86.7 | 1.9 | 4.1 | 0.0 | 37.2 | 36.0 | 99.3 | 60.1 | 84.2 | 771.3 |
| 1999 | 120.3 | 157.9 | 80.2 | 63.4 | 7.0 | 24.0 | 8.6 | 8.4 | 66.7 | 54.4 | 87.7 | 81.6 | 760.2 |
| 2000 | 113.5 | 150.5 | 118.5 | 17.1 | 17.3 | 4.0 | 10.6 | 38.7 | 18.7 | 73.1 | 33.7 | 121.9 | 717.6 |
| 2001 | 176.3 | 98.0 | 171.0 | 27.7 | 16.8 | 1.6 | 19.8 | 6.3 | 66.6 | 111.4 | 61.3 | 123.0 | 879.7 |
| 2002 | 101.5 | 158.5 | 123.0 | 30.2 | 13.1 | 4.7 | 32.9 | 12.4 | 70.3 | 76.1 | 99.7 | 141.6 | 864.0 |
| 2003 | 135.6 | 118.5 | 141.9 | 105.8 | 27.6 | 2.8 | 1.6 | 23.7 | 33.1 | 40.0 | 69.8 | 123.5 | 823.9 |
| 2004 | 55.3 | 169.5 | 54.3 | 38.1 | 17.6 | 9.6 | 15.9 | 7.8 | 47.4 | 52.6 | 101.9 | 86.5 | 656.3 |
| 2005 | 55.3 | 78.0 | 78.9 | 27.2 | 14.9 | 0.6 | 6.7 | 6.2 | 20.5 | 123.9 | 64.9 | 75.9 | 553.0 |
| 2006 | 168.1 | 78.0 | 85.9 | 20.6 | 2.4 | 5.3 | 33.9 | 8.4 | 55.5 | 53.8 | 54.4 | 92.0 | 658.4 |
| 2007 | 103.4 | 38.6 | 154.1 | 59.0 | 13.8 | 0.0 | 2.8 | 2.3 | 16.9 | 68.4 | 53.7 | 85.3 | 598.4 |
| 2008 | 111.6 | 66.2 | 53.8 | 26.0 | 4.0 | 12.5 | 6.8 | 20.1 | 42.6 | 74.4 | 34.3 | 72.1 | 524.5 |
| 2009 | 98.2 | 95.3 | 139.1 | 66.8 | 17.4 | 10.3 | 7.9 | 34.1 | 28.0 | 42.6 | 121.7 | 118.2 | 779.6 |
| 2010 | 184.4 | 91.7 | 115.0 | 43.9 | 1.2 | 6.8 | 5.1 | 1.1 | 7.1 | 51.8 | 27.0 | 106.4 | 641.4 |
| 2011 | 167.1 | 246.2 | 118.7 | 77.4 | 20.5 | 0.0 | 3.8 | 2.0 | 72.9 | 51.7 | 75.7 | 132.6 | 968.7 |
| 2012 | 82.4 | 154.3 | 81.6 | 93.1 | 20.5 | 15.2 | 0.4 | 0.0 | 34.0 | 33.8 | 77.2 | 141.1 | 733.7 |
| 2013 | 158.7 | 154.1 | 62.3 | 48.3 | 9.0 | 9.6 | 1.9 | 32.1 | 57.8 | 35.9 | 44.5 | 84.3 | 698.5 |
| 2014 | 173.6 | 83.8 | 140.0 | 44.8 | 76.9 | 12.2 | 13.4 | 1.5 | 64.6 | 38.0 | 70.8 | 122.9 | 842.5 |
| 2015 | 127.9 | 105.2 | 100.8 | 42.8 | 18.8 | 5.3 | 9.9 | 12.0 | 41.8 | 53.1 | 66.6 | 107.0 | 691.3 |
| Prom. | 126.1 | 134.2 | 109.6 | 58.1 | 17.8 | 8.8 | 7.9 | 14.8 | 41.8 | 64.4 | 66.7 | 105.4 | 755.5 |
| Máx. | 222.4 | 246.2 | 173.0 | 134.6 | 76.9 | 66.8 | 33.9 | 38.7 | 95.3 | 130.3 | 141.1 | 171.5 | |
| Min. | 55.3 | 38.6 | 53.8 | 17.1 | 1.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | 33.8 | 27.0 | 40.9 | |

Nota: Elaboración propia.

Gráfica 38

Precipitación generada para la cuenca Shullcas en función a la estación Huayao.



Nota: Elaboración propia.

Tabla 71

Precipitación generada para subcuenca Shullcas a partir de estación Shullcas (1997 - 2015)

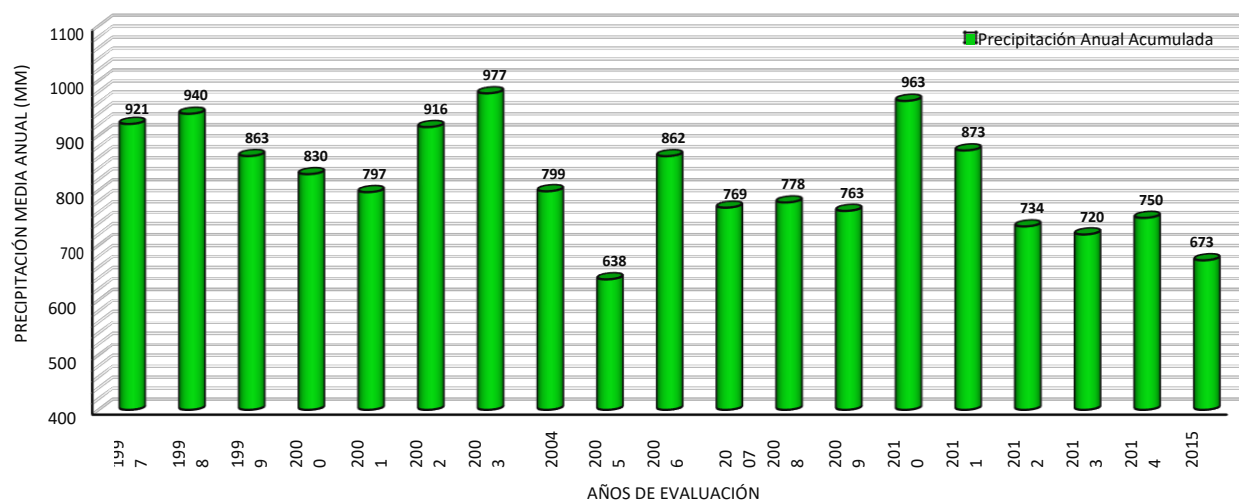
| AÑO | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 1997 | 133.16 | 171.88 | 116.37 | 42.92 | 12.02 | 1.43 | 0.95 | 19.36 | 41.02 | 76.21 | 111.22 | 194.68 | 921.22 |
| 1998 | 193.92 | 220.34 | 70.11 | 81.74 | 7.44 | 5.82 | 0.00 | 9.82 | 13.74 | 111.41 | 102.25 | 123.14 | 939.72 |
| 1999 | 119.80 | 203.07 | 138.12 | 29.66 | 20.03 | 22.22 | 13.16 | 0.29 | 56.56 | 77.17 | 80.60 | 101.97 | 862.65 |
| 2000 | 188.57 | 169.59 | 147.37 | 59.90 | 9.82 | 3.91 | 3.72 | 37.30 | 27.47 | 66.77 | 17.17 | 98.15 | 829.75 |
| 2001 | 237.89 | 102.82 | 121.81 | 34.82 | 31.76 | 2.77 | 11.26 | 4.10 | 33.67 | 49.12 | 64.19 | 102.73 | 796.93 |
| 2002 | 109.60 | 152.81 | 199.92 | 34.24 | 15.64 | 5.82 | 32.05 | 13.45 | 53.32 | 72.87 | 77.26 | 148.61 | 915.59 |
| 2003 | 167.40 | 173.50 | 161.29 | 73.54 | 26.23 | 0.86 | 1.34 | 51.13 | 50.84 | 42.92 | 70.11 | 157.86 | 977.02 |
| 2004 | 49.22 | 157.77 | 98.15 | 24.90 | 21.84 | 13.45 | 17.07 | 19.08 | 48.55 | 88.71 | 99.29 | 160.53 | 798.56 |
| 2005 | 81.84 | 103.87 | 100.34 | 10.87 | 13.35 | 0.00 | 0.00 | 7.92 | 16.60 | 121.90 | 62.29 | 118.94 | 637.93 |
| 2006 | 214.33 | 105.02 | 111.03 | 41.11 | 2.67 | 10.87 | 0.00 | 24.51 | 34.72 | 88.13 | 103.49 | 126.57 | 862.46 |
| 2007 | 90.14 | 107.50 | 114.75 | 56.18 | 25.18 | 0.00 | 24.42 | 14.50 | 35.77 | 87.47 | 89.28 | 123.43 | 768.60 |
| 2008 | 206.98 | 117.61 | 53.99 | 43.11 | 14.78 | 7.82 | 0.00 | 7.63 | 32.34 | 111.03 | 65.53 | 117.23 | 778.05 |
| 2009 | 92.05 | 161.39 | 38.34 | 43.59 | 25.09 | 21.94 | 8.68 | 33.10 | 45.59 | 59.81 | 94.24 | 138.88 | 762.69 |
| 2010 | 312.86 | 265.84 | 51.51 | 52.37 | 0.86 | 4.86 | 10.68 | 10.40 | 24.32 | 64.67 | 52.18 | 112.74 | 963.28 |
| 2011 | 152.14 | 200.78 | 53.03 | 85.46 | 14.50 | 0.00 | 10.11 | 10.87 | 77.07 | 64.57 | 80.89 | 123.52 | 872.95 |
| 2012 | 96.05 | 129.82 | 53.80 | 101.01 | 14.50 | 11.92 | 8.49 | 9.92 | 45.88 | 54.18 | 81.74 | 127.05 | 734.36 |
| 2013 | 146.51 | 129.63 | 51.70 | 56.75 | 6.39 | 7.15 | 9.16 | 25.94 | 64.96 | 55.42 | 62.48 | 103.68 | 719.77 |
| 2014 | 156.43 | 75.35 | 51.51 | 53.32 | 54.18 | 9.44 | 14.59 | 10.68 | 70.39 | 56.66 | 77.93 | 119.52 | 750.00 |
| 2015 | 126.19 | 91.85 | 51.41 | 51.41 | 13.26 | 3.62 | 12.97 | 15.93 | 52.08 | 65.43 | 75.45 | 113.03 | 672.65 |
| Prom. | 151.32 | 149.50 | 93.92 | 51.42 | 17.34 | 7.05 | 9.40 | 17.15 | 43.41 | 74.44 | 77.24 | 126.96 | 819.17 |
| Máx. | 312.86 | 265.84 | 199.92 | 101.01 | 54.18 | 22.22 | 32.05 | 51.13 | 77.07 | 121.90 | 111.22 | 194.68 | |
| Min. | 49.22 | 75.35 | 38.34 | 10.87 | 0.86 | 0.00 | 0.00 | 0.29 | 13.74 | 42.92 | 17.17 | 98.15 | |

Nota: Elaboración propia.

Gráfica 39

Precipitación generada para la subcuena Shullcas a partir de estación Shullcas.

PRECIPITACIÓN GENERADA ESTACIÓN SHULLCAS PARA LA SUBCUENA SHULLCAS: 1997 - 2015



Nota: Elaboración propia.

Tabla 72

Precipitación generada para subcuena Shullcas a partir de estación Santa Ana (1992 - 2015)

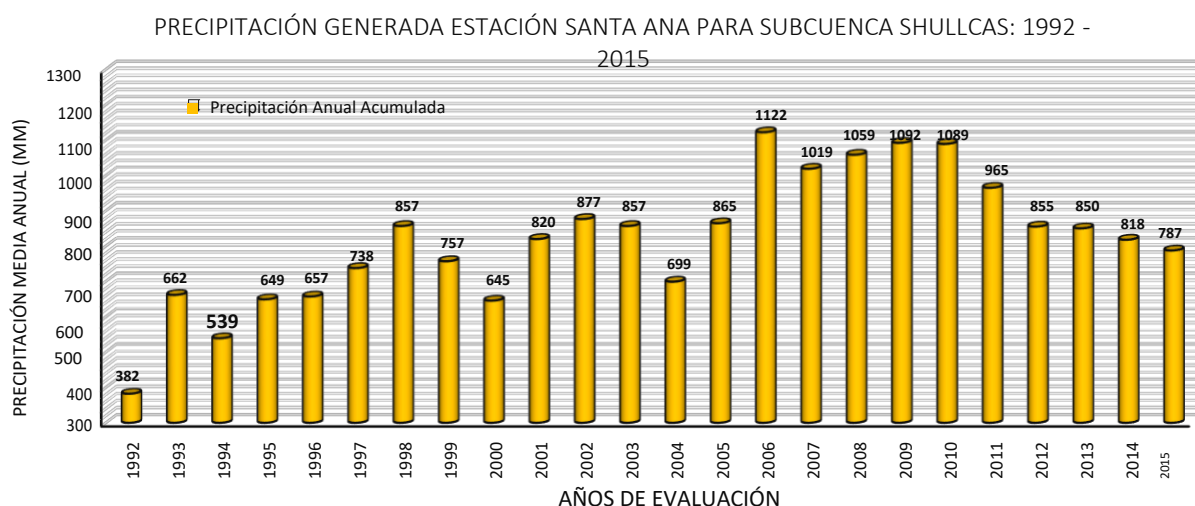
| AÑO | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
|------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|----------------|
| 1992 | 15.97 | 94.64 | 53.44 | 17.88 | 3.62 | 12.24 | 3.09 | 18.74 | 16.71 | 35.56 | 71.32 | 38.96 | 382.17 |
| 1993 | 119.76 | 113.27 | 116.14 | 94.21 | 24.91 | 1.92 | 3.62 | 13.84 | 15.44 | 20.86 | 67.28 | 70.47 | 661.72 |
| 1994 | 99.00 | 81.76 | 66.85 | 39.18 | 17.67 | 6.39 | 0.00 | 6.07 | 5.64 | 47.69 | 68.02 | 100.92 | 539.19 |
| 1995 | 82.61 | 83.78 | 115.18 | 20.86 | 7.88 | 1.60 | 6.81 | 9.26 | 18.95 | 92.30 | 82.08 | 127.85 | 649.16 |
| 1996 | 121.04 | 96.34 | 114.12 | 76.01 | 4.05 | 1.06 | 0.00 | 3.51 | 41.62 | 43.33 | 53.55 | 102.62 | 657.25 |
| 1997 | 128.70 | 155.74 | 64.83 | 32.26 | 3.51 | 2.24 | 2.55 | 21.50 | 34.49 | 47.05 | 78.99 | 165.86 | 737.73 |
| 1998 | 194.07 | 193.64 | 59.93 | 75.69 | 8.09 | 7.45 | 0.00 | 8.09 | 29.49 | 100.49 | 95.70 | 84.21 | 856.85 |
| 1999 | 89.00 | 170.11 | 86.76 | 33.64 | 6.60 | 21.72 | 11.82 | 3.83 | 64.40 | 71.75 | 108.58 | 88.78 | 756.99 |
| 2000 | 110.29 | 147.12 | 95.06 | 42.16 | 15.97 | 1.92 | 7.77 | 22.78 | 5.85 | 63.98 | 45.78 | 86.76 | 645.43 |
| 2001 | 115.93 | 125.08 | 190.13 | 33.53 | 10.54 | 0.85 | 8.94 | 4.36 | 42.79 | 83.35 | 75.90 | 128.49 | 819.91 |
| 2002 | 71.54 | 119.55 | 135.62 | 38.86 | 12.88 | 1.60 | 25.87 | 23.31 | 66.21 | 90.27 | 158.72 | 132.22 | 876.65 |
| 2003 | 101.66 | 134.77 | 177.67 | 68.45 | 32.89 | 0.00 | 0.53 | 22.36 | 24.80 | 27.36 | 89.21 | 177.14 | 856.85 |
| 2004 | 75.90 | 145.20 | 83.35 | 31.40 | 14.16 | 11.71 | 10.54 | 12.46 | 37.68 | 40.13 | 102.09 | 134.56 | 699.19 |
| 2005 | 148.01 | 143.57 | 147.07 | 12.42 | 20.94 | 1.61 | 0.00 | 11.66 | 35.51 | 109.46 | 75.77 | 158.69 | 864.72 |
| 2006 | 294.20 | 145.32 | 152.53 | 54.99 | 16.12 | 14.37 | 0.00 | 42.24 | 45.64 | 94.58 | 96.15 | 165.97 | 1122.11 |
| 2007 | 157.17 | 149.10 | 154.42 | 76.22 | 26.28 | 1.61 | 37.68 | 23.78 | 46.22 | 94.29 | 89.12 | 162.94 | 1018.84 |
| 2008 | 286.08 | 164.50 | 123.37 | 57.82 | 21.59 | 10.78 | 0.00 | 11.12 | 44.31 | 104.67 | 77.37 | 156.96 | 1058.57 |
| 2009 | 159.28 | 231.20 | 115.36 | 58.49 | 26.24 | 27.37 | 12.77 | 58.06 | 51.70 | 82.11 | 91.57 | 177.90 | 1092.05 |
| 2010 | 302.82 | 273.18 | 114.98 | 50.89 | 15.72 | 7.03 | 12.90 | 12.86 | 36.51 | 76.41 | 63.77 | 121.91 | 1088.98 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|---------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 2011 | 177.57 | 203.22 | 115.55 | 83.79 | 20.07 | 2.27 | 12.22 | 13.48 | 57.29 | 76.39 | 73.79 | 129.24 | 964.87 |
| 2012 | 133.89 | 126.85 | 115.82 | 99.20 | 20.07 | 12.91 | 10.42 | 12.17 | 45.01 | 73.14 | 74.10 | 131.61 | 855.20 |
| 2013 | 173.23 | 126.68 | 115.06 | 55.26 | 17.49 | 8.96 | 11.21 | 33.05 | 52.52 | 73.53 | 67.37 | 115.74 | 850.11 |
| 2014 | 180.96 | 68.24 | 114.99 | 51.82 | 32.75 | 10.83 | 17.29 | 13.14 | 54.67 | 73.91 | 72.79 | 126.51 | 817.90 |
| 2015 | 157.36 | 86.03 | 114.96 | 49.88 | 19.68 | 6.00 | 15.43 | 19.99 | 47.46 | 76.65 | 71.92 | 122.08 | 787.44 |
| Prom. | 145.67 | 140.79 | 114.30 | 52.29 | 16.65 | 7.27 | 8.81 | 17.57 | 38.37 | 70.80 | 81.29 | 125.35 | 819.16 |
| Máx. | 302.82 | 273.18 | 190.13 | 99.20 | 32.89 | 27.37 | 37.68 | 58.06 | 66.21 | 109.46 | 158.72 | 177.90 | |
| Min. | 15.97 | 68.24 | 53.44 | 12.42 | 3.51 | 0.00 | 0.00 | 3.51 | 5.64 | 20.86 | 45.78 | 38.96 | |

Nota: Elaboración propia.

Gráfica 40

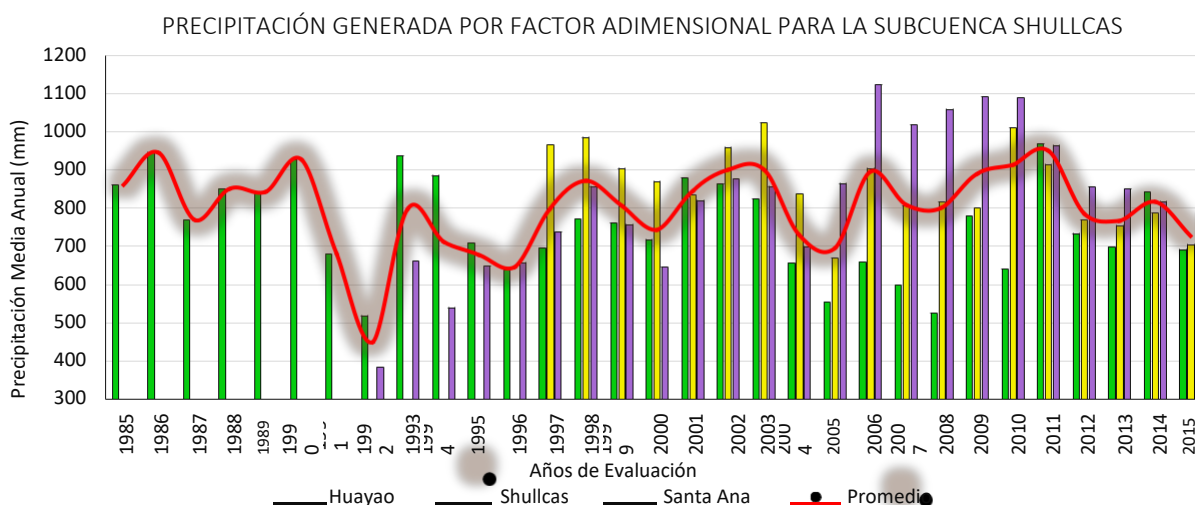
Precipitación generada para la subcuenca Shullcas a partir de estación Santa Ana.



Nota: Elaboración propia.

Gráfica 41

Precipitación media anual generada por factor adimensional en la subcuenca Shullcas



Nota: Elaboración propia.

4.7. Evaluación hidrométrica

En este segmento se hará el cálculo y análisis de caudales registrados del río Shullcas y también se hallará el caudal de manera indirecta con datos de cuencas vecinas ubicadas en la cuenca del Mantaro que guardan características similares, estos datos serán comparados con las mediciones insitu y nos ayudara a conocer la variación de resultados por ambos métodos.

4.7.1. Estaciones hidrométricas

Se cuenta con las siguientes estaciones vecinas ubicadas en subcuencas que pertenecen a la cuenca Mantaro. Los datos que se utilizaron fueron extraídos de la evaluación del potencial hidroeléctrico del Perú Vol. V.

Tabla 73

Información hidrométrica de subcuencas pertenecientes al Mantaro

| Estaciones Hidrométricas | Área Km ² | Altitud msnm | Precipitación n mm | Caudal Medio Adoptado MC/Seg | Caudal Real MC/Seg | Caudal Natural MM/Año | Caudal Especifico o L/S/Km ² |
|--------------------------|----------------------|--------------|--------------------|------------------------------|--------------------|-----------------------|---|
| Pallanga | 243.8 | 4566.3 | 814.0 | 1.8 | 2.8 | 362 | 11.48 |
| Huaron | 403.5 | 4576.5 | 816.0 | 3.5 | 5.5 | 429 | 13.63 |
| Carhuacayan | 587.2 | 4575.5 | 816.0 | 7.8 | 8.8 | 472 | 14.99 |
| Huari | 396.7 | 4615.1 | 824.0 | 7.4 | 6.4 | 508 | 16.13 |
| Rumichaca | 143.6 | 4564.8 | 814.0 | 0.4 | 1.4 | 307 | 9.75 |
| Pachacayo | 715.2 | 4403.6 | 739.0 | 9.0 | 9.0 | 396 | 12.58 |
| Cochas Tunel | 478.9 | 4456.7 | 778.9 | 6.0 | 6.0 | 395 | 12.53 |
| Yulapuquio | 613.7 | 4596.1 | 790.0 | 5.6 | 6.6 | 339 | 10.75 |
| Pomacocha | 242.3 | 4736.8 | 847.0 | 2.4 | 3.4 | 442 | 14.03 |
| Colorado | 251.5 | 4501.0 | 803.0 | 1.9 | 2.9 | 363 | 11.53 |
| San Juan | 704.9 | 4314.4 | 1070.0 | 9.6 | 9.6 | 429 | 13.62 |
| Huaron | 75 | 4379.8 | 781.0 | 2.3 | 1.3 | 546 | 17.33 |
| Cutoff | 551.8 | 4595.6 | 821.0 | 8.6 | 9.6 | 548 | 17.40 |

Nota: *Evaluación del potencial hidroeléctrico del Perú Vol. V.*

Con estos resultados se formará el caudal medio teórico por el método de regionalización de la subcuenca Shullcas de la siguiente manera.

4.7.2. Relación del caudal en función al área de captación

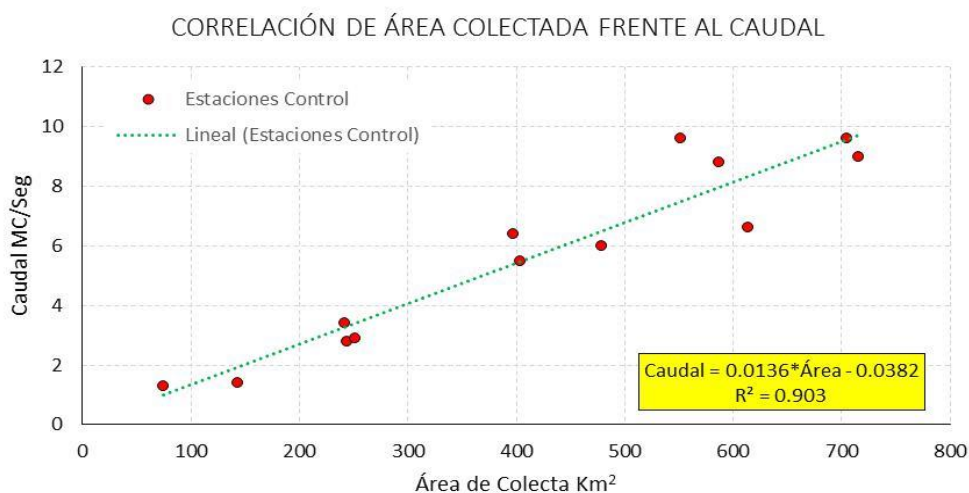
Según la correlación de caudal en función al área de captación se obtuvo el siguiente modelo, donde: Q_m : Es el caudal medio estimado por regionalización de una cuenca, Área: Es el área de escurrimiento de la cuenca.

$$= 0.0136 \cdot \text{Área} - 0.0382$$

Ecuación 41

Gráfica 42

Correlación de área colectada frente al caudal en la cuenca Mantaro



Nota: Elaboración propia.

Ahora calcularemos el valor por regionalización del caudal medio del Rio Shullcas:

$$A = 0.0136 \cdot 232.073 - 0.0382$$

El caudal por regionalización del Shullcas es de: $3.12 \text{ m}^3/\text{s}^2$.

4.7.3. Relación de rendimiento hídrico en función a la altitud

Ahora se hará la correlación del rendimiento hídrico R.H de una cuenca en función a su altura media, esta evaluación será de cuencas vecinas al Shullcas. El rendimiento hídrico es una proporción del caudal frente al área de escurrimiento.

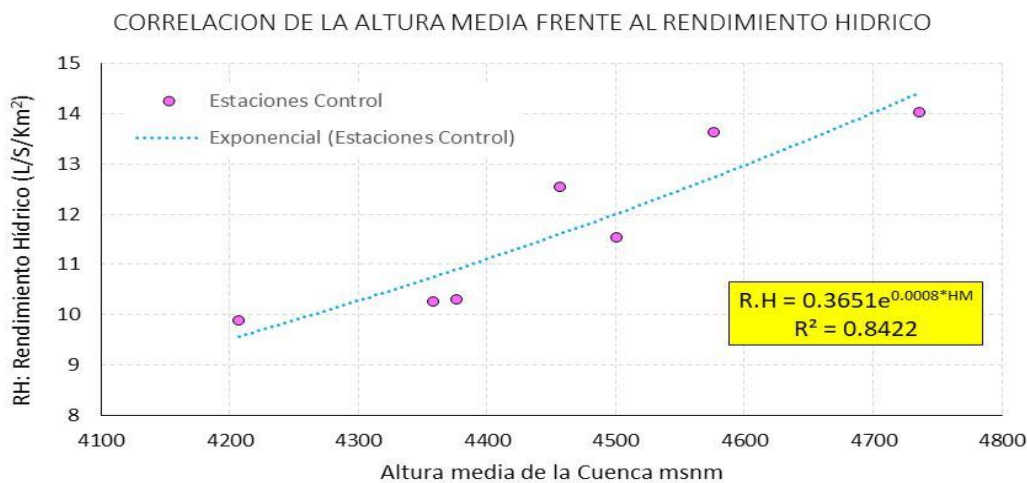
$$= 0.351 \cdot \text{HM} + 0.0008$$

Ecuación 42

Donde el RH, es el rendimiento hídrico y sus unidades son L/S/km² y HM, es la altura media de la cuenca.

Gráfica 43

Correlación de la altura media frente al rendimiento hídrico



Nota: *Elaboración propia.*

$$R.H = 0.3651 \cdot e^{0.0008 \cdot HM}$$

El rendimiento hídrico de la subcuenca Shullcas es de 10.415 L/S/Km².

4.7.4. Relación de caudal real frente a caudal de escorrentía

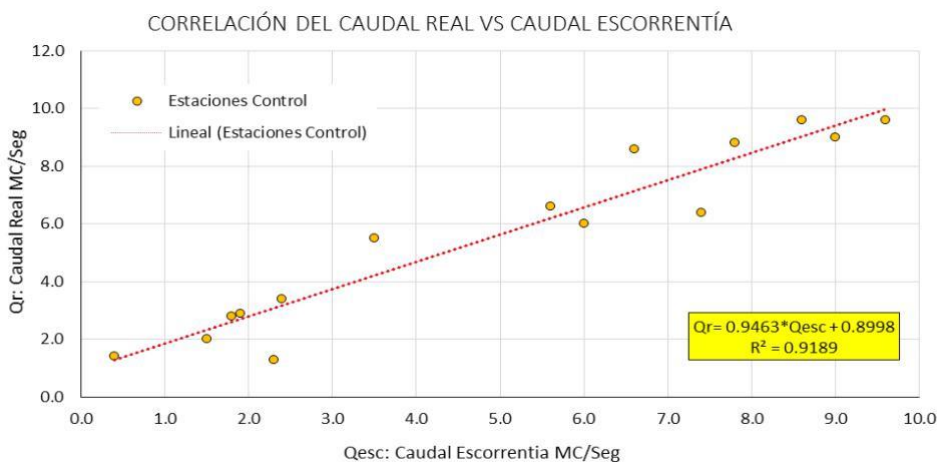
Ahora también veremos la correlación del caudal real y el caudal de escorrentía del registro histórico que se realizó en el Perú por la misión alemana, donde nos muestra la siguiente ecuación empírica, con un coeficiente de correlación R² = 0.9189.

$$Qr = 0.9463 \cdot Qesc + 0.8998$$

Ecuación 43

Gráfica 44

Correlación del caudal real frente al caudal de escorrentía



Nota: *Elaboración propia.*

El caudal de escorrentía en la subcuenca Shullcas es $2.557 \text{ m}^3/\text{s}$ según la fórmula:

$$3.32 = 0.9463 + 0.8998$$

4.7.5. Registro histórico de caudales la subcuenca Shullcas

La presente investigación utilizo el registro histórico de la estación Shullcas, que se encuentra en el drenaje principal del río y comprende un registro en el periodo 1985 al 2011, publicados en Evaluación de recursos hídricos superficiales en la cuenca del Mantaro, 2015.

Tabla 74

Registro de información hidrométrica del río Shullcas m³/s - Periodo 1985 - 2011

| Ubicación: Río Shullcas Este: 484449 Oeste: 8673402 Cota: 3602 m.s.n.m. Estación Hidrométrica: Shullcas | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------------|
| Año | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | Media Anual |
| 1985 | 6.33 | 9.03 | 9.13 | 4.38 | 2.50 | 1.66 | 1.25 | 1.04 | 1.29 | 1.23 | 2.51 | 5.1 | 3.788 |
| 1986 | 7.70 | 10.59 | 10.52 | 9.04 | 4.59 | 2.46 | 1.44 | 1.27 | 1.14 | 1.05 | 1.12 | 3.96 | 4.573 |
| 1987 | 8.35 | 5.65 | 4.38 | 3.02 | 1.85 | 1.27 | 1.26 | 1.20 | 1.17 | 1.33 | 2.87 | 4.21 | 3.047 |
| 1988 | 10.60 | 7.70 | 5.21 | 6.80 | 2.41 | 1.54 | 1.57 | 1.45 | 1.36 | 1.14 | 1.00 | 1.70 | 3.540 |
| 1989 | 5.01 | 14.02 | 5.29 | 3.87 | 2.46 | 1.67 | 1.10 | 1.04 | 0.99 | 1.27 | 1.58 | 1.56 | 3.322 |
| 1990 | 4.61 | 2.09 | 1.89 | 1.89 | 1.30 | 1.29 | 1.16 | 1.03 | 0.92 | 1.86 | 4.67 | 3.04 | 2.146 |
| 1991 | 4.12 | 2.05 | 4.29 | 2.20 | 1.57 | 1.09 | 1.01 | 1.12 | 1.23 | 1.25 | 1.92 | 1.86 | 1.976 |
| 1992 | 1.92 | 3.12 | 2.56 | 4.06 | 1.39 | 1.19 | 1.14 | 1.12 | 1.08 | 1.05 | 1.00 | 1.06 | 1.724 |
| 1993 | 3.17 | 3.18 | 3.56 | 3.25 | 2.68 | 1.63 | 1.34 | 1.24 | 1.24 | 1.33 | 2.31 | 6.15 | 2.590 |
| 1994 | 6.46 | 12.49 | 10.25 | 8.07 | 3.34 | 1.60 | 1.40 | 1.24 | 1.10 | 1.30 | 1.23 | 2.04 | 4.210 |
| 1995 | 3.36 | 6.97 | 7.85 | 3.68 | 2.36 | 2.43 | 2.35 | 2.00 | 2.18 | 2.26 | 1.61 | 2.33 | 3.282 |
| 1996 | 4.04 | 11.42 | 6.29 | 4.67 | 2.12 | 1.71 | 1.52 | 1.43 | 1.33 | 1.40 | 1.49 | 2.49 | 3.326 |
| 1997 | 5.75 | 6.62 | 6.80 | 2.63 | 1.42 | 1.16 | 1.59 | 1.52 | 1.42 | 1.30 | 2.26 | 6.39 | 3.238 |
| 1998 | 7.34 | 12.34 | 7.77 | 4.43 | 1.69 | 1.11 | 1.06 | 0.96 | 1.21 | 1.39 | 2.97 | 4.04 | 3.859 |
| 1999 | 5.12 | 11.45 | 9.56 | 4.41 | 1.90 | 1.96 | 1.84 | 1.58 | 1.54 | 2.12 | 1.29 | 2.77 | 3.795 |
| 2000 | 6.78 | 17.83 | 13.43 | 5.25 | 1.50 | 1.20 | 0.89 | 0.81 | 1.10 | 1.26 | 1.19 | 1.85 | 4.424 |
| 2001 | 13.59 | 16.97 | 11.12 | 5.97 | 1.80 | 1.35 | 1.33 | 1.22 | 1.28 | 1.42 | 1.81 | 4.07 | 5.161 |
| 2002 | 1.75 | 8.30 | 9.87 | 6.11 | 1.90 | 1.36 | 1.12 | 1.10 | 1.33 | 1.63 | 2.34 | 4.14 | 3.413 |
| 2003 | 3.97 | 8.55 | 10.19 | 6.74 | 2.70 | 1.42 | 1.28 | 1.15 | 1.03 | 1.04 | 1.20 | 2.42 | 3.474 |
| 2004 | 3.14 | 6.92 | 4.53 | 2.54 | 1.97 | 1.76 | 1.40 | 1.08 | 1.23 | 1.23 | 1.89 | 5.14 | 2.736 |
| 2005 | 2.96 | 3.19 | 4.77 | 2.00 | 1.43 | 1.13 | 0.96 | 1.05 | 0.97 | 1.66 | 1.55 | 2.73 | 2.033 |
| 2006 | 6.39 | 6.77 | 3.46 | 3.60 | 1.65 | 1.50 | 1.25 | 1.20 | 1.17 | 1.26 | 1.76 | 3.21 | 2.768 |
| 2007 | 5.29 | 3.67 | 5.08 | 2.99 | 1.71 | 1.24 | 1.34 | 1.20 | 1.15 | 1.19 | 1.75 | 2.41 | 2.418 |
| 2008 | 6.93 | 5.03 | 4.06 | 1.67 | 1.07 | 0.97 | 1.04 | 1.04 | 1.03 | 1.13 | 1.17 | 1.36 | 2.208 |

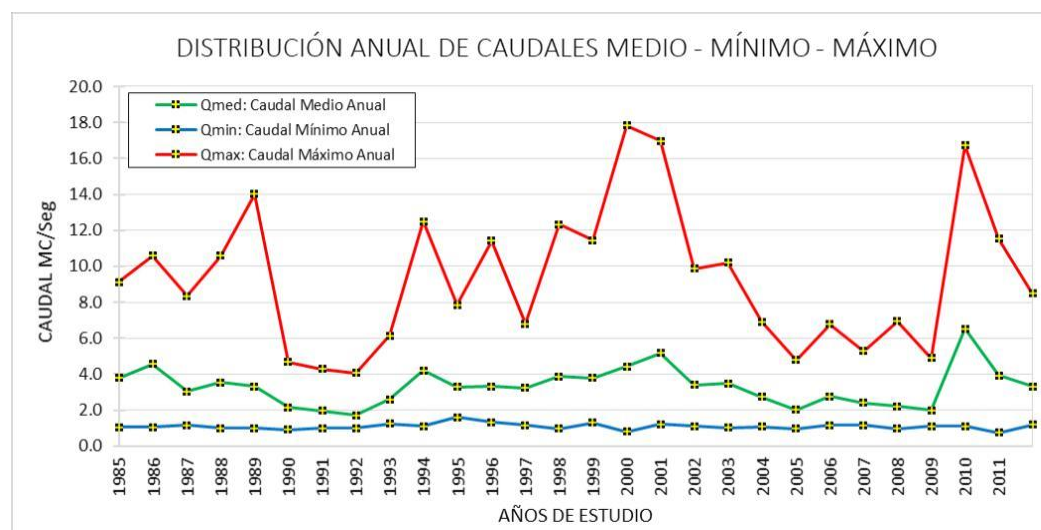
| | | | | | | | | | | | | | |
|-------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 2009 | 1.43 | 4.90 | 3.69 | 2.43 | 1.26 | 1.16 | 1.12 | 1.10 | 1.15 | 1.21 | 1.93 | 2.64 | 2.002 |
| 2010 | 16.72 | 16.56 | 15.35 | 10.95 | 3.06 | 1.35 | 1.12 | 1.15 | 1.13 | 1.16 | 3.54 | 6.10 | 6.516 |
| 2011 | 5.28 | 11.53 | 9.09 | 7.82 | 2.66 | 1.60 | 1.14 | 1.09 | 1.14 | 0.75 | 1.38 | 3.72 | 3.933 |
| Q | | | | | | | | | | | | | |
| Media | 5.856 | 8.479 | 7.037 | 4.610 | 2.085 | 1.474 | 1.297 | 1.201 | 1.219 | 1.341 | 1.901 | 3.277 | 3.315 |
| Des. | | | | | | | | | | | | | |
| Std. | 3.450 | 4.610 | 3.462 | 2.381 | 0.768 | 0.371 | 0.301 | 0.233 | 0.238 | 0.325 | 0.848 | 1.517 | 1.542 |
| Q Min | 1.430 | 2.050 | 1.890 | 1.670 | 1.070 | 0.970 | 0.890 | 0.810 | 0.920 | 0.750 | 1.000 | 1.060 | 1.209 |
| Q Max | 16.720 | 17.830 | 15.350 | 10.950 | 4.590 | 2.460 | 2.350 | 2.000 | 2.180 | 2.260 | 4.670 | 6.390 | 7.313 |

Nota: Senamhi, 2015.

En la gráfica se indica las variables media, máxima y mínima de caudal en los años de registro 1985 a 2011, de aquí se escogerá los años secos y húmedos.

Gráfica 45

Distribución anual de caudales medio, mínimo y máximo del río Shullcas

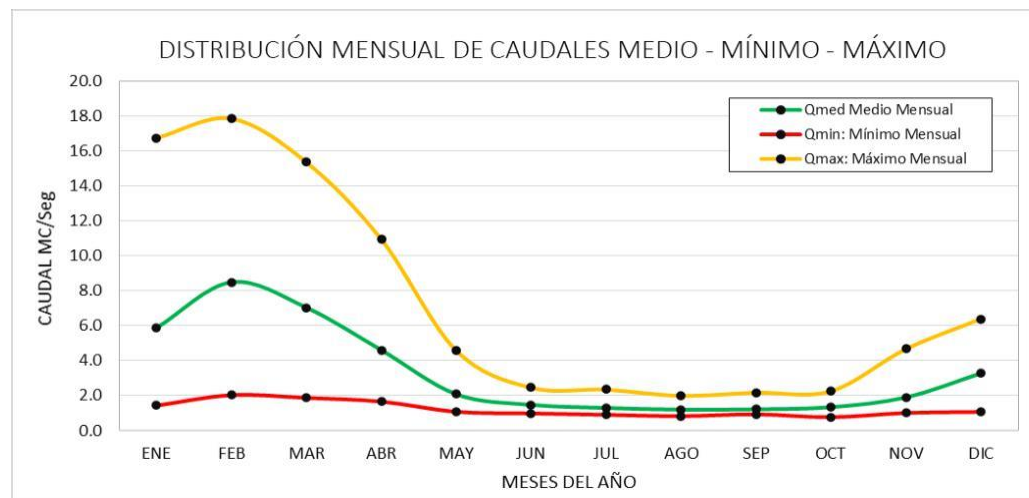


Nota: Adaptado de Senamhi, 2015.

Se menciona como años húmedos según la data a 1986 (4.57 m³/s), 1994 (4.21 m³/s), 2001 (5.16 m³/s) y el 2010 (6.52 m³/s). Los años secos son: 1992 (1.72 m³/s), 2005 (2.03 m³/s) y el 2009 (2.00 m³/s). Es importante conocer los eventos máximos y mínimos de caudal de la cuenca, según su frecuencia de ocurrencia, el cual se relacionará con los eventos climáticos de fenómeno ENOS.

Gráfica 46

Distribución mensual de caudales medio, mínimo y máximo del río Shullcas



Nota: *Elaboración propia.*

En cuanto a los caudales máximos todos se registran en de febrero del 2011 (16.72 m³/s), 2001 (13.51 m³/s) y 1988 (10.60 m³/s), los caudales mínimos se registraron en agosto del 2000 (0.81 m³/s), julio del 2005 (0.96 m³/s) y junio del 2008 (0.97 m³/s).

4.7.6. Cálculo del escurrimiento de la subcuenca Shullcas

Es la lámina de agua en (mm) escurrida que no logra infiltrarse, el cual forma parte de la precipitación que no ha alcanzado a ser retenida o infiltrada en el área de captación. La escorrentía se representa por la siguiente formula, siendo Q: Caudal de la cuenca, t: tiempo de escurrimiento, A: es el área de la cuenca y Esc: es el escurrimiento de la cuenca evaluada.

$$= \frac{Q \cdot t}{A}$$

Ecuación 44

Tabla 75

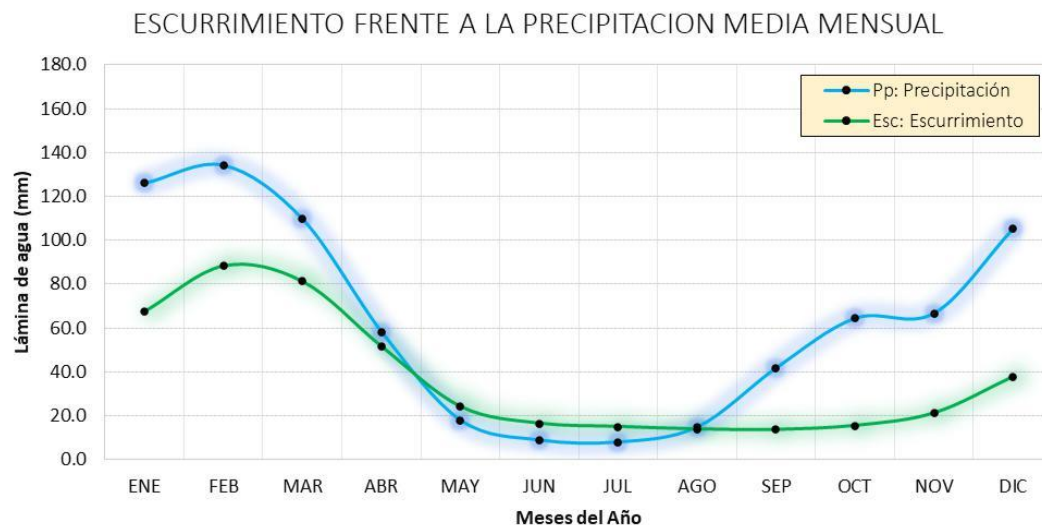
Cálculo del escurrimiento medio mensual en la subcuenca Shullcas

| Meses del año | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | Media Anual mm |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------|
| Qm: Caudales medios mensuales m ³ /s | 5.86 | 8.48 | 7.04 | 4.61 | 2.08 | 1.47 | 1.30 | 1.20 | 1.22 | 1.34 | 1.90 | 3.28 | 3.315 |
| Esc: Escurrimiento (mm) | 67.58 | 88.39 | 81.21 | 51.49 | 24.06 | 16.47 | 14.97 | 13.86 | 13.61 | 15.48 | 21.24 | 37.83 | 446.19 |

Nota: *Elaboración propia.*

Gráfica 47

Comportamiento del escurrimiento frente a la precipitación en la subcuenca Shullcas

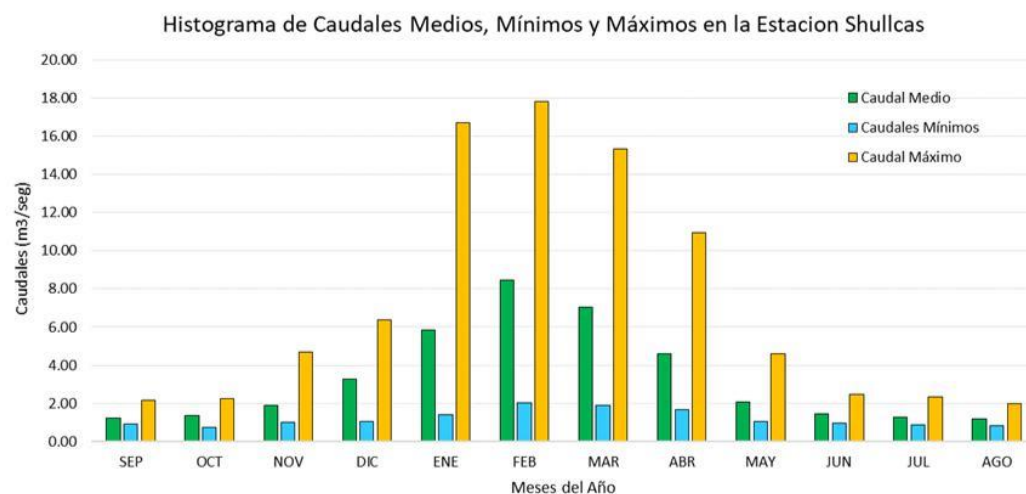


Nota: Elaboración propia.

Si observamos en los meses de mayo, junio, julio y agosto existe un déficit negativo, lo que se analizara más adelante dándole un enfoque como aporte del glaciar.

Gráfica 48

Histograma de caudal medio, mínimo y máximo de la estación Shullcas



Nota: Elaboración propia.

4.7.7. Aporte hídrico del glaciar Huaytapallana

Los glaciares actúan como reservas de agua, regulando los caudales a lo largo del año, almacenando agua en temporada húmeda para liberarla en temporada seca. (Vignon, 2002).

Para obtener el caudal del nevado Huaytapallana que se genera por la fusión del

glaciar con aporte a la cuenca Shullcas es viable analizar el caudal que vierte durante los años más secos. Para tener mayor significancia del aporte del glaciar al río Shullcas se subdividirá a la cuenca en las siguientes microcuencas.

Tabla 76

Aforos realizados en cursos del Shullcas 2011, Minan 2013.

| Estaciones de aforo | Medición | Fecha | Altura de la mira H | Caudal Q | Área de la Sección A | Velocidad de Corriente V | Equipo de medición | Promedios Q m ³ /s |
|---------------------|----------|------------|---------------------|----------|----------------------|--------------------------|--------------------|-------------------------------|
| Qda. Huaytapallana | 1 | 12/09/2011 | 1.13 | 0.392 | 0.505 | 0.625 | SEBA F2709 | 0.506 |
| | 2 | 13/09/2011 | 1.15 | 0.444 | 0.625 | 0.625 | SEBA F2709 | |
| | 3 | 14/09/2011 | 1.23 | 0.591 | 0.645 | 0.795 | SEBA F2709 | |
| | 4 | 14/09/2011 | 1.23 | 0.597 | 0.670 | 0.795 | C-31 | |
| Tinco | 1 | 12/09/2011 | 1.07 | 0.240 | 0.630 | 0.377 | SEBA F2709 | 0.419 |
| | 2 | 13/09/2011 | 1.25 | 0.201 | 0.630 | 0.377 | SEBA F2709 | |
| | 3 | 14/09/2011 | 1.40 | 0.632 | 0.063 | 0.004 | SEBA F2709 | |
| | 4 | 14/09/2011 | 1.40 | 0.534 | 0.551 | 0.546 | C-31 | |
| Qda. Chichicancha | 1 | 12/09/2011 | 1.30 | 0.303 | 0.915 | 0.436 | SEBA F2709 | 0.449 |
| | 2 | 13/09/2011 | 1.35 | 0.515 | 1.025 | 0.429 | SEBA F2709 | |
| Shullcas | 1 | 12/09/2011 | 0.19 | 0.565 | 1.933 | 0.316 | SEBA F2709 | 0.767 |
| | 2 | 13/09/2011 | 0.21 | 0.565 | 2.120 | 0.366 | SEBA F2709 | |
| Qda. Shullcas | 1 | 12/09/2011 | 0.40 | 0.236 | 0.650 | 0.343 | SEBA F2709 | 0.223 |
| | 2 | 12/09/2011 | 0.40 | 0.210 | 0.663 | 0.257 | SEBA F2709 | |
| Qda. VDLN A | 1 | 14/09/2011 | 0.40 | 0.072 | 0.173 | 0.422 | SEBA F2709 | 0.049 |
| Qda. VDLN B | 2 | 14/09/2011 | 1.20 | 0.025 | 0.264 | 0.105 | SEBA F2709 | |

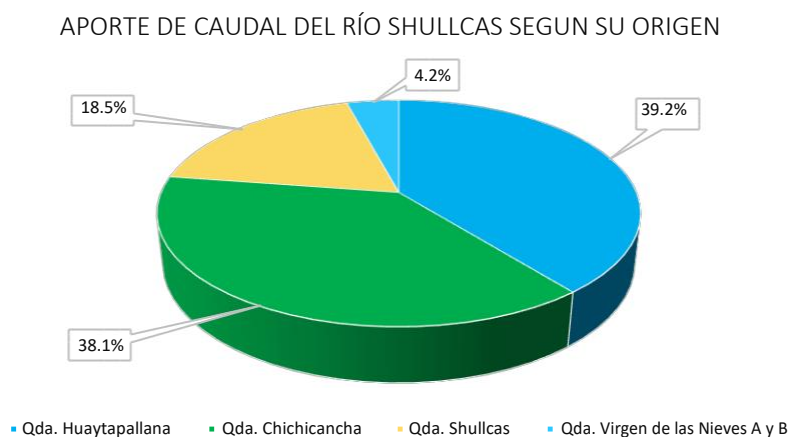
Nota: *Proyecto de adaptación al impacto del retroceso acelerado de los andes tropicales PRAAPERU, 2013.*

Según el análisis de caudales encontrados en los tributarios del río Shullcas, se determina que dos quebradas tienen origen glaciar, denominadas la quebrada Huaytapallana y Virgen de las Nieves y están confluyen en la quebrada Tinco. Además de ellas se suman dos aportes de origen íntegramente lacustre denominadas quebrada Shullcas y Chichicancha, que al unirse forman el río Shullcas y porcentualmente se distribuyen de la siguiente manera:

Tabla 77*Descripción porcentual de aportes de caudal al río Shullcas*

| Microcuencas | Caudal Estiaje | Porcentaje | Descripción de su origen |
|---------------------------------|----------------|------------|--------------------------------------|
| Qda. Huaytapallana | 0.463 | 39.2% | Origen glaciar |
| Qda. Chichicancha | 0.449 | 38.1% | Laguna altoandina represada |
| Qda. Shullcas | 0.218 | 18.5% | Afloramiento y laguna altoandina |
| Qda. Virgen de las Nieves A y B | 0.049 | 4.2% | Origen glaciar |
| TOTAL | 1.179 | 100% | Caudal total de la estación Shullcas |

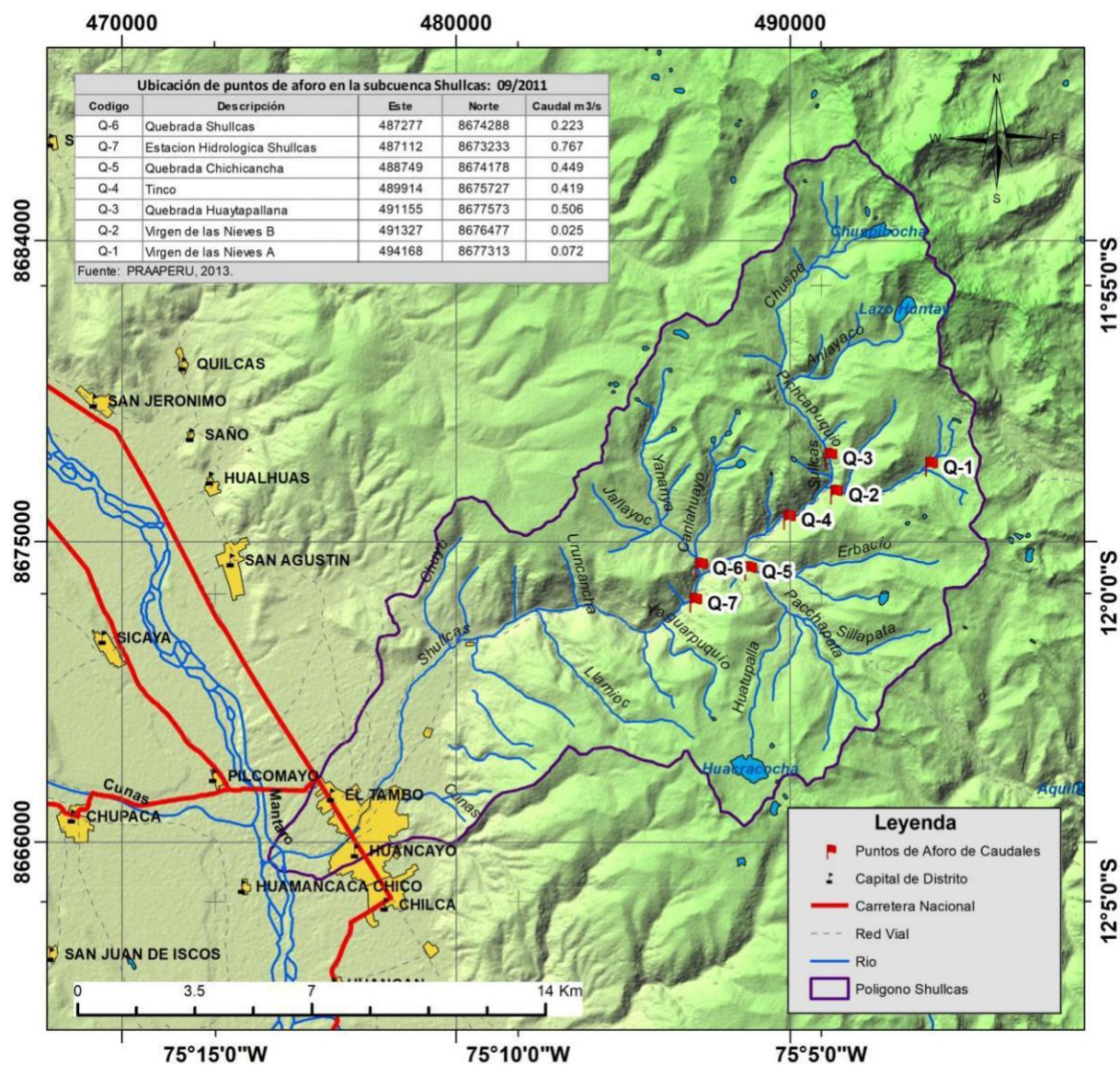
Nota: Proyecto de adaptación al impacto del retroceso acelerado de los andes tropicales PRAAPERU, 2013.

Gráfica 49*Aporte porcentual de caudal del río Shullcas según su origen*

Nota: Elaboración propia.

Figura 61

Distribución de puntos de monitoreo de caudal en la subcuenca Shullcas



Nota: Elaboración propia.

La distribución de los puntos se hizo de manera estratégica, logrando conocer el aporte de cada subsistema de aportes del río Shullcas, durante el fin del periodo de estiaje.

Tabla 78

Valores generados de escurrimiento en la subcuenca Shullcas

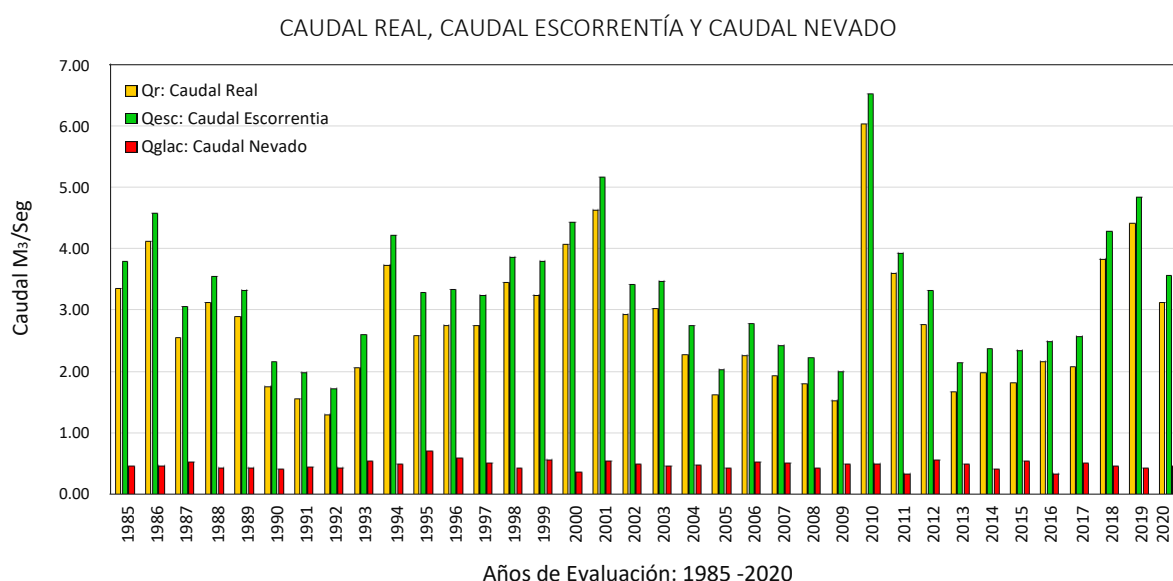
| Año | Pp: P. Total | D: Déficit | Esc: Escorrentía | Qe: Caudal Escorrentía (natural) | Qr: Caudal Real – Ajus. | Qn: Caudal Nevado |
|--------------|--------------|--------------|------------------|--|----------------------------|----------------------|
| 1985 | 861.1 | 407.4 | 453.7 | 3.34 | 3.79 | 0.45 |
| 1986 | 945.9 | 386.8 | 559.1 | 4.11 | 4.57 | 0.46 |
| 1987 | 768.6 | 423.1 | 345.5 | 2.54 | 3.05 | 0.51 |
| 1988 | 851.3 | 429.2 | 422.1 | 3.11 | 3.54 | 0.43 |
| 1989 | 841.6 | 448.8 | 392.8 | 2.89 | 3.32 | 0.43 |
| 1990 | 927.8 | 689.9 | 237.9 | 1.75 | 2.15 | 0.40 |
| 1991 | 679.6 | 470.1 | 209.5 | 1.54 | 1.98 | 0.44 |
| 1992 | 450.4 | 275.6 | 174.8 | 1.29 | 1.72 | 0.43 |
| 1993 | 799.2 | 520.4 | 278.8 | 2.05 | 2.59 | 0.54 |
| 1994 | 712.4 | 205.2 | 507.2 | 3.73 | 4.21 | 0.48 |
| 1995 | 678.8 | 328.0 | 350.8 | 2.58 | 3.28 | 0.70 |
| 1996 | 647.1 | 273.0 | 374.1 | 2.75 | 3.33 | 0.58 |
| 1997 | 799.4 | 427.5 | 371.9 | 2.74 | 3.24 | 0.50 |
| 1998 | 871.1 | 403.2 | 467.9 | 3.44 | 3.86 | 0.42 |
| 1999 | 807.2 | 366.9 | 440.3 | 3.24 | 3.8 | 0.56 |
| 2000 | 744.3 | 191.4 | 552.9 | 4.07 | 4.42 | 0.35 |
| 2001 | 845.0 | 215.8 | 629.2 | 4.63 | 5.16 | 0.53 |
| 2002 | 900.2 | 501.7 | 398.5 | 2.93 | 3.41 | 0.48 |
| 2003 | 901.7 | 490.9 | 410.8 | 3.02 | 3.47 | 0.45 |
| 2004 | 730.9 | 422.3 | 308.6 | 2.27 | 2.74 | 0.47 |
| 2005 | 695.5 | 476.3 | 219.2 | 1.61 | 2.03 | 0.42 |
| 2006 | 894.9 | 587.5 | 307.4 | 2.26 | 2.77 | 0.51 |
| 2007 | 807.7 | 546.7 | 261.0 | 1.92 | 2.42 | 0.50 |
| 2008 | 799.6 | 556.5 | 243.1 | 1.79 | 2.21 | 0.42 |
| 2009 | 890.4 | 683.5 | 206.9 | 1.52 | 2.00 | 0.48 |
| 2010 | 913.4 | 93.5 | 819.9 | 6.03 | 6.52 | 0.49 |
| 2011 | 949.6 | 459.8 | 489.8 | 3.60 | 3.93 | 0.33 |
| 2012 | 786.3 | 411.0 | 375.3 | 2.76 | 3.31 | 0.55 |
| 2013 | 767.7 | 541.9 | 225.8 | 1.66 | 2.14 | 0.48 |
| 2014 | 815.6 | 547.3 | 268.3 | 1.97 | 2.37 | 0.40 |
| 2015 | 728.0 | 482.3 | 245.7 | 1.81 | 2.34 | 0.53 |
| 2016 | 752.9 | 459.9 | 293.0 | 2.16 | 2.49 | 0.33 |
| 2017 | 719.5 | 438.6 | 280.9 | 2.07 | 2.57 | 0.50 |
| 2018 | 914.9 | 394.9 | 520.0 | 3.83 | 4.28 | 0.45 |
| 2019 | 828.7 | 230.1 | 598.6 | 4.41 | 4.83 | 0.42 |
| 2020 | 815.6 | 392.3 | 423.3 | 3.11 | 3.56 | 0.45 |
| Media | 801.2 | 421.6 | 379.6 | 2.80 | 3.30 | 0.50 |

Nota: Elaboración propia.

Por lo tanto, para el cálculo del caudal del nevado se considera 43.4% del total de la cuenca que viene a ser 0.512 m³/s para el periodo setiembre del 2011, este valor contrastaremos con el caudal total de la estación Shullcas que me registro 1.140 m³/s y el valor en el monitoreo en campo resulto 1.179 m³/s, donde se contrastan con un error menor al 5%.

Gráfica 50

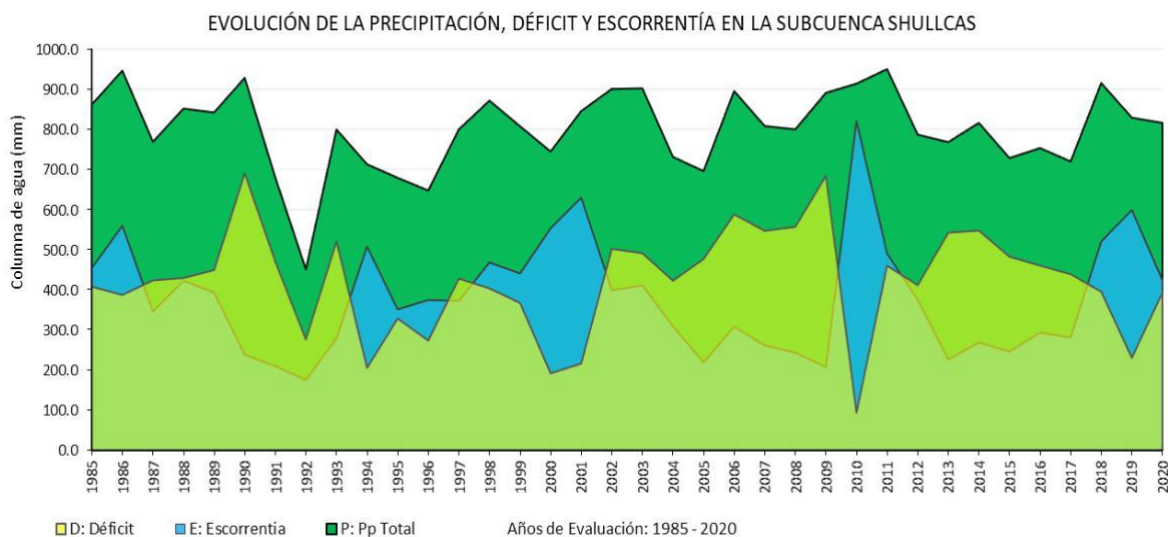
Representación del caudal real, escorrentía y caudal del glaciar



Nota: *Elaboración propia.*

Gráfica 51

Evolución de la precipitación, déficit y escorrentía en la subcuenca Shullcas



Nota: *Elaboración propia.*

El glaciar Huaytapallana tiene una media de 0.50 m³/s de aporte al caudal del río Shullcas en los meses de estiaje según la evaluación de 35 años continuos.

4.7.8. Caudales mínimos anuales

Tabla 79

Caudales medio mensuales para los años más secos en la subcuenca Shullcas

| Año | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | Media Anual |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------------|
| 1991 | 4.12 | 2.05 | 4.29 | 2.20 | 1.57 | 1.09 | 1.01 | 1.12 | 1.23 | 1.25 | 1.92 | 1.86 | 1.976 |
| 1992 | 1.92 | 3.12 | 2.56 | 4.06 | 1.39 | 1.19 | 1.14 | 1.12 | 1.08 | 1.05 | 1.00 | 1.06 | 1.724 |
| 2005 | 2.96 | 3.19 | 4.77 | 2.00 | 1.43 | 1.13 | 0.96 | 1.05 | 0.97 | 1.66 | 1.55 | 2.73 | 2.033 |
| 2009 | 1.43 | 4.90 | 3.69 | 2.43 | 1.26 | 1.16 | 1.12 | 1.10 | 1.15 | 1.21 | 1.93 | 2.64 | 2.002 |

Nota: *Elaboración propia.*

$$= \frac{1.01 + 1.00 + 0.96 + 1.10}{4} = 1.017 \text{ } ^3/$$

Los caudales de los años secos tienen como promedio 1.017 m³/s, que proviene de básicamente del glaciar más un aporte importante de embalses lacustres regulados con fines de consumo humano y agricultura.

4.7.9. Caudales de estiaje

Se calculará de promediando los meses con menor caudal en el año de estío:

Tabla 80

Precipitación total, escorrentía total y caudal de año más seco

| PRECIPITACION TOTAL MENSUAL (mm) | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------|
| Año | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | Media Anual |
| 1992 | 15.97 | 94.64 | 53.44 | 17.88 | 3.62 | 12.24 | 3.09 | 18.74 | 16.71 | 35.56 | 71.32 | 38.96 | 382.17 |
| ESCORRENTIA TOTAL MENSUAL (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| 1992 | 67.58 | 88.39 | 81.21 | 51.49 | 24.06 | 16.47 | 14.97 | 13.86 | 13.61 | 15.48 | 21.24 | 37.83 | 446.19 |
| CAUDALES MENSUALES EN EL AÑO MAS SECO HISTORICO EN LA SUBCUENCA SHULLCAS (M ³ /SEG) | | | | | | | | | | | | | |
| 1992 | 1.92 | 3.12 | 2.56 | 4.06 | 1.39 | 1.19 | 1.14 | 1.12 | 1.08 | 1.05 | 1.00 | 1.06 | 1.724 |

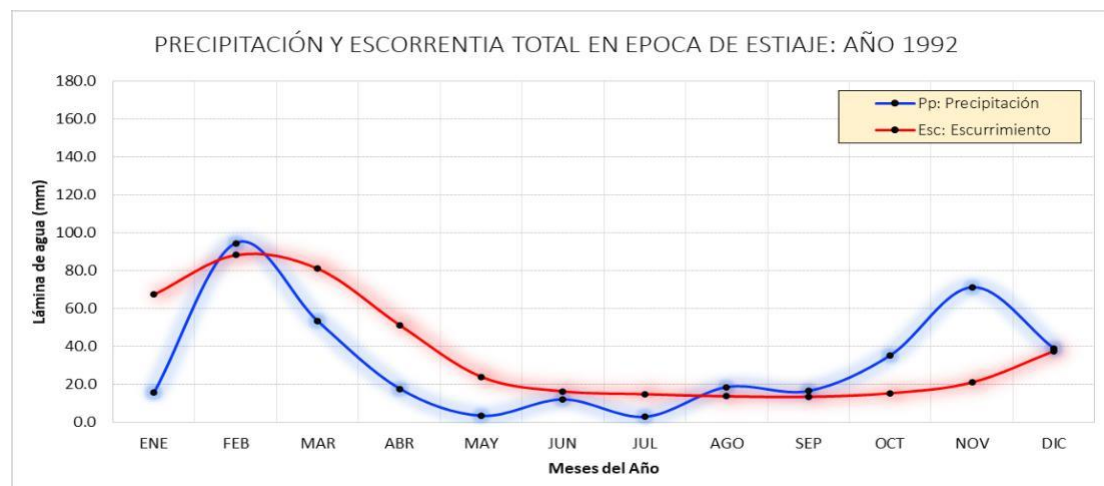
Nota: *Elaboración propia.*

$$= \frac{1.12 + 1.08 + 1.05 + 1.00 + 1.06}{5} = 1.062 \text{ } ^3/$$

De otra parte, al buscar el año más seco históricamente en el registro, se evidenció el año 1992 con un caudal de 1.062 m³/s, siendo similar al promedio multianual de años secos

Gráfica 52

Precipitación y escorrentía total en época de estiaje – 1992



Nota: *Elaboración propia.*

Como se estableció en los diagramas estadísticos multianuales, el mayor aporte de caudal se da en el trimestre; diciembre, enero, febrero que es la temporada de verano lluvioso.

Ahora integraremos los resultados de los caudales mínimos históricos y el año más seco que propone la metodología para cuencas con injerencia glaciar (Vignon, 2002). Para ello se ha definido el inicio del año hidrológico en el mes de julio (IGP, 2015), donde el aporte de precipitación es mínimo y el escurrimiento de la cuenca responde a un origen de la fusión del glaciar. Donde el análisis de caudales mínimos anuales representa 1.017 m³/s y el caudal de estiaje o año más seco históricamente en el registro es de 1.062 m³/s.

Estos datos han sido medidos en la estación Shullcas o último punto de colección de aforos de la cuenca, como balance de volúmenes de agua en la subcuenca consideraremos la medición de monitoreo en la época seca en la salida de las lagunas de origen glaciar que asciende a 0.506 m³/s. Ahora asignaremos ese valor como caudal exclusivo de fusión del glaciar Huaytapallana. Este valor será contrastado con el registro de descargas controladas

según Sedam Huancayo S.A con la supervisión de la Administración técnica del distrito de Riego Mantaro, donde indican que el 65.1% del aporte es de la laguna Huacracochoa traduciéndose a 4.55 MMC, para épocas de estiaje.

4.7.10. Curva de duración o persistencia

Tabla 81

Curva de duración o persistencia de caudales en el rio Shullcas

| CLASIFICACION DE DATOS DE CAUDALES DE ESTIAJE EN EL RIO SHULLCAS EN EL AÑO 1985 - 2011 | | | | | | |
|--|----------------|------|------|------|------|----------------|
| Nro. | Frecuencia (%) | JUN | JUL | AGO | SEP | Promedio (J-S) |
| 1 | 3.70 | 2.46 | 1.4 | 1.21 | 1.10 | 1.54 |
| 2 | 7.41 | 2.43 | 1.4 | 1.20 | 1.10 | 1.53 |
| 3 | 11.11 | 2.35 | 1.36 | 1.20 | 1.10 | 1.50 |
| 4 | 14.81 | 2.18 | 1.36 | 1.20 | 1.10 | 1.46 |
| 5 | 18.52 | 2.00 | 1.35 | 1.20 | 1.10 | 1.41 |
| 6 | 22.22 | 1.96 | 1.35 | 1.19 | 1.09 | 1.40 |
| 7 | 25.93 | 1.84 | 1.34 | 1.17 | 1.09 | 1.36 |
| 8 | 29.63 | 1.76 | 1.34 | 1.17 | 1.08 | 1.34 |
| 9 | 33.33 | 1.71 | 1.33 | 1.16 | 1.08 | 1.32 |
| 10 | 37.04 | 1.67 | 1.33 | 1.16 | 1.06 | 1.31 |
| 11 | 40.74 | 1.66 | 1.33 | 1.16 | 1.05 | 1.30 |
| 12 | 44.44 | 1.63 | 1.29 | 1.15 | 1.04 | 1.28 |
| 13 | 48.15 | 1.60 | 1.29 | 1.15 | 1.04 | 1.27 |
| 14 | 51.85 | 1.60 | 1.28 | 1.15 | 1.04 | 1.27 |
| 15 | 55.56 | 1.59 | 1.28 | 1.15 | 1.04 | 1.27 |
| 16 | 59.26 | 1.58 | 1.27 | 1.14 | 1.03 | 1.26 |
| 17 | 62.96 | 1.57 | 1.27 | 1.14 | 1.03 | 1.25 |
| 18 | 66.67 | 1.54 | 1.26 | 1.14 | 1.03 | 1.24 |
| 19 | 70.37 | 1.54 | 1.25 | 1.14 | 1.01 | 1.24 |
| 20 | 74.07 | 1.52 | 1.25 | 1.13 | 0.99 | 1.22 |
| 21 | 77.78 | 1.52 | 1.24 | 1.13 | 0.97 | 1.22 |
| 22 | 81.48 | 1.50 | 1.24 | 1.12 | 0.97 | 1.21 |
| 23 | 85.19 | 1.45 | 1.24 | 1.12 | 0.96 | 1.19 |
| 24 | 88.89 | 1.44 | 1.24 | 1.12 | 0.96 | 1.19 |
| 25 | 92.59 | 1.43 | 1.23 | 1.12 | 0.92 | 1.18 |
| 26 | 96.30 | 1.42 | 1.23 | 1.12 | 0.89 | 1.17 |
| 27 | 100.00 | 1.42 | 1.22 | 1.11 | 0.81 | 1.14 |

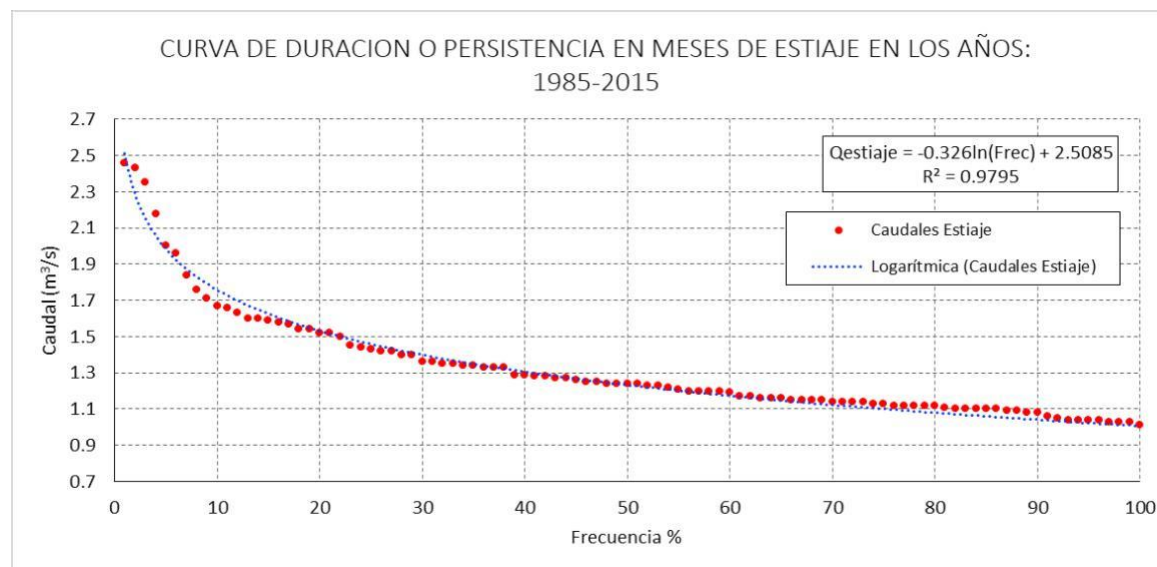
Nota: *Elaboración propia.*

El método consiste en el análisis de frecuencias de la serie histórica de caudales medios mensuales, el cual permite estimar el caudal ligado a una determinada probabilidad de ocurrencia. Para la cuenca subcuenca Shullcas, consideraremos como el caudal aportado por el glaciar el valor de ocurrencia del 99%, que es un caudal base que está representado como

el aporte del glaciar Huaytapallana por estar analizados con datos de los meses de estío: julio, agosto y setiembre.

Gráfica 53

Evolución de la precipitación, déficit y escorrentía en la subcuenca Shullcas



Nota: *Elaboración propia.*

Tabla 82

Frecuencias para los caudales en estiaje generados

| FRECUENCIAS PARA LOS CAUDALES EN ESTIAJE GENERADOS POR LA FUNCION NUMERICA | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Los valores están generados por la función a su probabilidad de ocurrencia: $Q_{estiaje} = -0.326 * FREC + 2.5085$ | | | | | | | | | | | | | | | |
| Frecuencia (%) | 5 | 10 | 20 | 25 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 75 | 80 | 90 | 95 | 97 | 99 |
| Q Generado (m ³ /s) | 1.984 | 1.758 | 1.532 | 1.459 | 1.400 | 1.306 | 1.233 | 1.174 | 1.123 | 1.101 | 1.080 | 1.042 | 1.024 | 1.017 | 1.010 |

Nota: *Elaboración propia.*

$$= 2.508 - 0.326 *$$

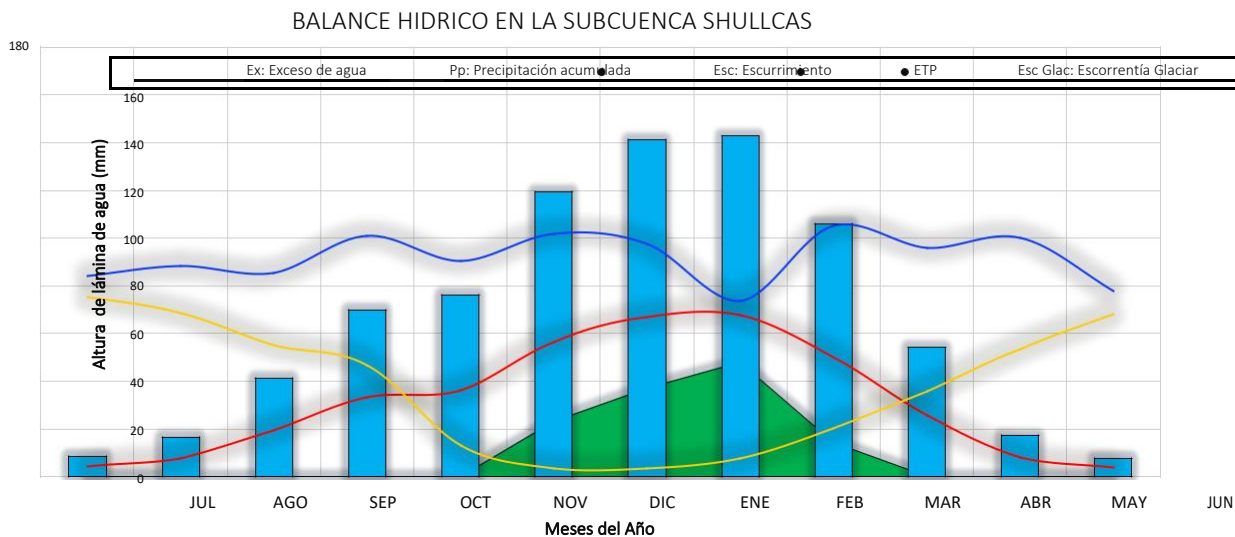
Ecuación 45

La correlación es aceptable con un valor de $R^2 = 0.979$ para una función logarítmica, donde el caudal de persistencia al 99% nos dio 1.010 m³/s. El cual afianza en caudal de la cuenca en los años más secos y con mínimos aportes de lluvia (Vignon, 2002).

4.8. Balance hídrico

Gráfica 54

Balance hídrico en la subcuenca Shullcas



Nota: *Elaboración propia.*

El balance hídrico de la subcuenca Shullcas se realizó mediante los valores promedios de variables acumuladas en 35 años, el cual tiene aporte glaciar donde la variable de evapotranspiración y la precipitación son fenómenos físicos independientes, Doria y Madramootoo (2012) y se realizó siguiendo el método directo propuesto por Thornthwaite y Mather.

Tabla 83*Valores mensuales promedio de variables hídricas de la subcuenca Shullcas*

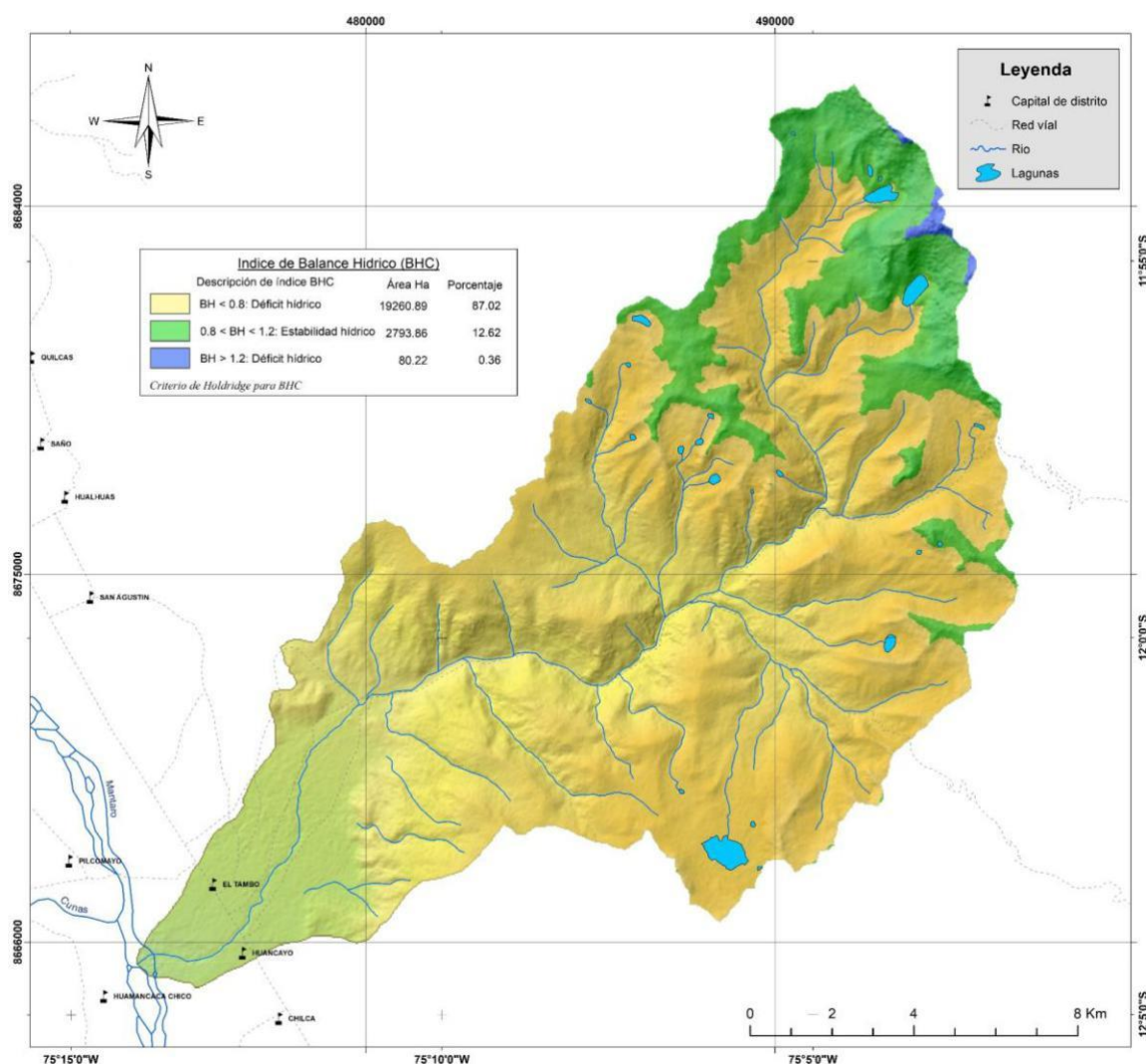
| BALANCE HIDRICO DE LA SUBCUENCA SHULLCAS | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------------------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|----------------|
| VARIABLES | UND. | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | SUMA |
| Días | día | 31 | 31 | 30 | 31 | 30 | 31 | 31 | 28 | 31 | 30 | 31 | 30 | 365 |
| Pp: Precipitación | mm | 8.71 | 16.52 | 41.27 | 70.02 | 76.22 | 119.45 | 141.28 | 142.77 | 106.16 | 54.07 | 17.30 | 7.71 | 801.48 |
| Q real: Caudal cuenca | m ³ /s | 1.30 | 1.20 | 1.22 | 1.34 | 1.90 | 3.28 | 5.86 | 8.48 | 7.04 | 4.61 | 2.08 | 1.47 | 3.31 |
| Esc: Esgurrimiento | mm | 4.13 | 7.83 | 19.54 | 33.16 | 36.10 | 56.58 | 66.91 | 67.62 | 50.28 | 25.61 | 8.20 | 3.65 | 379.60 |
| ETP: | | | | | | | | | | | | | | |
| Evapotranspiración | mm | 83.94 | 88.11 | 85.26 | 100.76 | 90.33 | 101.75 | 97.57 | 73.78 | 104.92 | 95.88 | 100.21 | 77.91 | 1100.41 |
| Evp: Evaporación | mm | 99.47 | 111.84 | 102.33 | 102.42 | 95.78 | 98.73 | 86.64 | 69.48 | 77.23 | 73.63 | 83.23 | 91.17 | 1091.96 |
| Esc Glac: Esc. Glaciar | mm | 75.33 | 68.63 | 55.08 | 46.87 | 12.96 | 3.35 | 3.35 | 7.56 | 20.09 | 35.80 | 53.57 | 68.04 | 450.63 |
| Qg: Caudal Glaciar | m ³ /s | 0.45 | 0.41 | 0.34 | 0.28 | 0.08 | 0.02 | 0.02 | 0.05 | 0.12 | 0.22 | 0.32 | 0.42 | 2.73 |
| Ex: Exceso de agua | mm | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 23.21 | 37.10 | 48.02 | 14.48 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 122.81 |
| Def: Déficit | mm | 4.58 | 8.69 | 21.71 | 36.83 | 40.10 | 62.84 | 74.32 | 75.10 | 55.84 | 28.44 | 9.10 | 4.06 | 421.61 |

Nota: *Elaboración propia.*

El balance hídrico climático (BHC) nos permitió definir los periodos secos (abril a setiembre) y húmedos (octubre a marzo), donde se identificó la precipitación promedio anual (PP) de 801.48 mm, una evapotranspiración potencial promedio anual (ETP) de 1100.41 mm, un déficit anual (DEF) de 421.61 mm, un exceso de agua (EX) promedio de 122.81 mm y por último una lámina de escurrimiento (ESC) anual de 379.60 mm. Ahora aplicaremos un método de comprobación aritmético que nos dice que se debe cumplir la igualdad de los valores anuales $ETP + EX = PP + DEF$. Dando como resultado 1223.10, lo cual nos indica la validez del balance hídrico de la cuenca Shullcas.

Figura 62

Balance hídrico climático de la subcuenca Shullcas



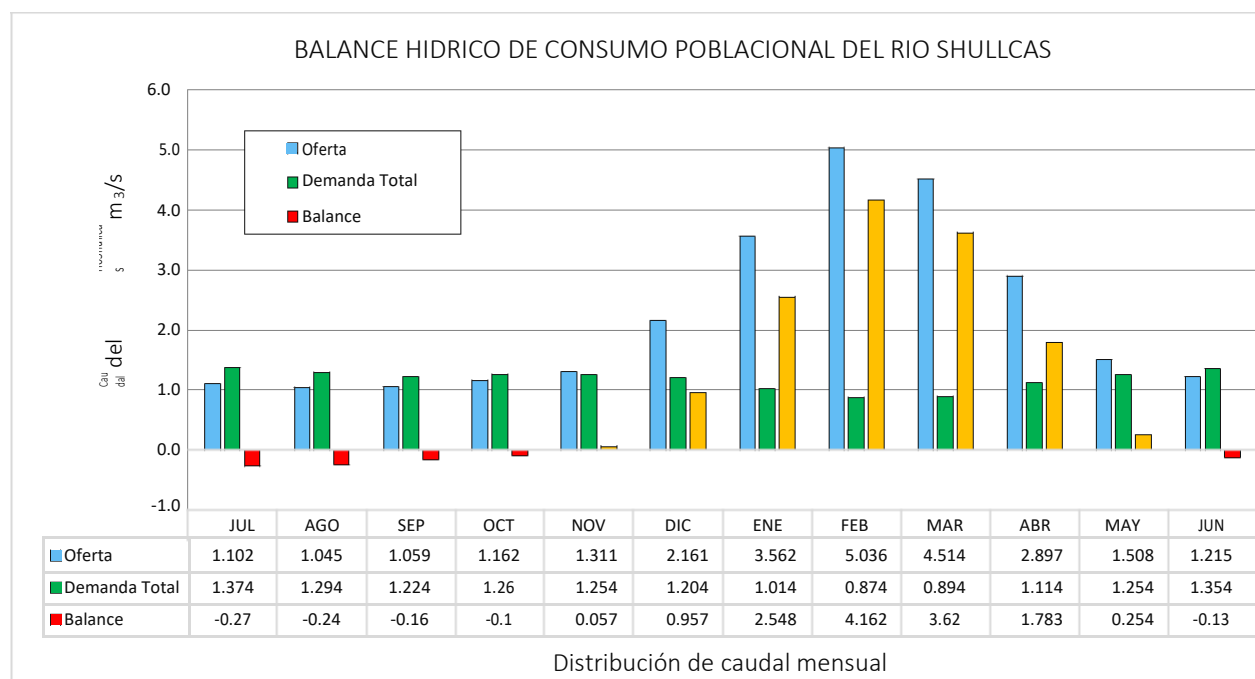
Nota: *Elaboración propia.*

Ahora se realizará un balance hídrico frente a la oferta del río Shullcas y actores de consumo que son principalmente de agricultura y agua potable de la ciudad de Huancayo.

El modelo que se utilizó fue del caudal del río Shullcas al 75% de persistencia y las demandas totales del recurso hídrico.

Tabla 84:*Oferta y demanda de caudal del río Shullcas*

| BALANCE HIDRICO POBLACIONAL DEL RIO SHULLCAS | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| DESCRIPCIÓN | UND. | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | MEDIA |
| Oferta 75% | m ³ /s | 1.102 | 1.045 | 1.059 | 1.162 | 1.311 | 2.161 | 3.562 | 5.036 | 4.514 | 2.897 | 1.508 | 1.215 | 2.21 |
| Uso Agrícola | m ³ /s | 0.590 | 0.510 | 0.440 | 0.480 | 0.470 | 0.420 | 0.230 | 0.090 | 0.110 | 0.330 | 0.470 | 0.570 | 0.39 |
| Potable-Sedam | m ³ /s | 0.614 | 0.614 | 0.614 | 0.614 | 0.614 | 0.614 | 0.614 | 0.614 | 0.614 | 0.614 | 0.614 | 0.614 | 0.61 |
| Potable-Otros | m ³ /s | 0.170 | 0.170 | 0.170 | 0.170 | 0.170 | 0.170 | 0.170 | 0.170 | 0.170 | 0.170 | 0.170 | 0.170 | 0.17 |
| Demanda Total | m ³ /s | 1.374 | 1.294 | 1.224 | 1.260 | 1.254 | 1.204 | 1.014 | 0.874 | 0.894 | 1.114 | 1.254 | 1.354 | 1.18 |
| Balance | m ³ /s | -0.27 | -0.24 | -0.16 | -0.10 | 0.057 | 0.957 | 2.548 | 4.162 | 3.620 | 1.783 | 0.254 | -0.13 | 1.04 |

Nota: *Evaluación de recursos hídricos superficiales en la cuenca del río Mantaro,2015.***Gráfica 55***Balace de consumo hídrico del río Shullcas***Nota:** *Evaluación de recursos hídricos superficiales en la cuenca del río Mantaro,2015.*

4.9. Integración de modelos numéricos ambientales

En este capítulo se aplicará la metodología de análisis de serie temporales ARIMA (p, d, q) (P, D, Q) a las variables de: caudal y la precipitación en la cuenca Shullcas.

4.9.1. Análisis de serie temporal de caudal del río Shullcas

Tabla 85

Descripción del modelo para serie temporal caudal

| Descripción del modelo | | | Tipo de modelo |
|------------------------|--------|----------|--------------------------|
| ID de modelo | CAUDAL | Modelo_1 | ARIMA(1,0,11) (0,1,1) |

Nota: Elaboración propia, realizado en IBM SPSS Statistics v25.

Tabla 86

Parámetros de ajuste del modelo para caudal

| Estadístico de ajuste | Ajuste del modelo | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|-------------------|----|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|---------|---------|---------|---------|
| | Media | SE | Mínimo | Máximo | 5 | 10 | 25 | Percentil | | | | 95 |
| R cuadrado estacionaria | ,596 | | ,596 | ,596 | ,596 | ,596 | ,596 | ,596 | ,596 | ,596 | ,596 | ,596 |
| R cuadrado | ,685 | | ,685 | ,685 | ,685 | ,685 | ,685 | ,685 | ,685 | ,685 | ,685 | ,685 |
| RMSE | 1,831 | | 1,831 | 1,831 | 1,831 | 1,831 | 1,831 | 1,831 | 1,831 | 1,831 | 1,831 | 1,831 |
| MAPE | 27,216 | | 27,216 | 27,216 | 27,216 | 27,216 | 27,216 | 27,216 | 27,216 | 27,216 | 27,216 | 27,216 |
| MaxAPE | 211,956 | | 211,956 | 211,956 | 211,956 | 211,956 | 211,956 | 211,956 | 211,956 | 211,956 | 211,956 | 211,956 |
| MAE | ,987 | | ,987 | ,987 | ,987 | ,987 | ,987 | ,987 | ,987 | ,987 | ,987 | ,987 |
| MaxAE | 11,336 | | 11,336 | 11,336 | 11,336 | 11,336 | 11,336 | 11,336 | 11,336 | 11,336 | 11,336 | 11,336 |
| BIC normalizado | 1,284 | | 1,284 | 1,284 | 1,284 | 1,284 | 1,284 | 1,284 | 1,284 | 1,284 | 1,284 | 1,284 |

Nota: Elaboración propia, realizado en IBM SPSS Statistics v25.

Tabla 87

Estadísticos del modelo para variable caudal

| Modelo | Número de predictores | Estadísticos de ajuste del modelo | | | | | | Ljung-Box Q(18) | | | Número de valores atípicos |
|-----------------|-----------------------|-----------------------------------|------------|-------|--------|------|-----------------|-----------------|----|------|----------------------------|
| | | R cuadrado estacionaria | R cuadrado | RMSE | MAPE | MAE | BIC normalizado | Estadísticos | DF | Sig. | |
| CAUDAL-Modelo_1 | 0 | ,596 | ,685 | 1,831 | 27,216 | ,987 | 1,284 | 10,777 | 15 | ,768 | 1 |

Nota: Elaboración propia, realizado en IBM SPSS Statistics v25.

Tabla 88

Parámetros de ajuste de modelo ARIMA para caudal

| Parámetros del modelo ARIMA | | | | Estimación | SE | t | Sig. | | |
|-----------------------------|--------|-------------------|-----------------------|------------|-------|------|--------|------|--|
| CAUDAL-Modelo_1 | CAUDAL | Logaritmo natural | AR | Retardo 1 | ,615 | ,045 | 13,634 | ,000 | |
| | | | MA | Retardo 11 | -,136 | ,058 | -2,343 | ,020 | |
| | | | Diferencia estacional | | 1 | | | | |
| | | | MA, estacional | Retardo 1 | ,981 | ,150 | 6,542 | ,000 | |

Nota: Elaboración propia, realizado en IBM SPSS Statistics v25.

Tabla 89

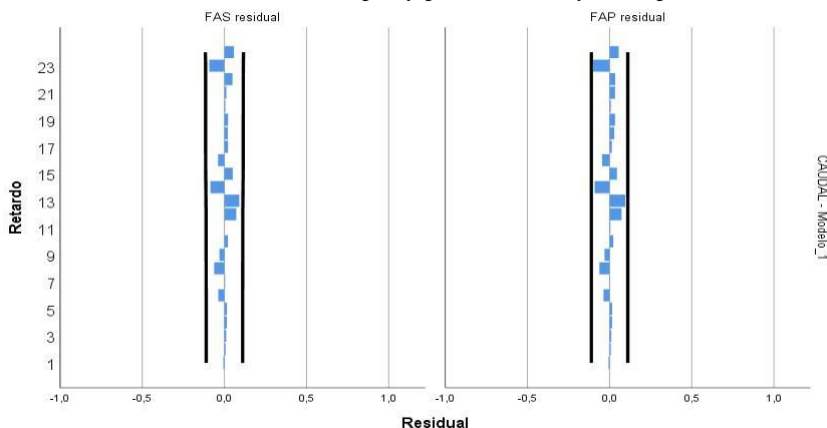
Límite superior, inferior y valor del pronóstico de caudal

| | | Pronóstico | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|------------|------------|----------|-----------|----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | Ene 2012 | Feb 2012 | Mar 2012 | Abr 2012 | Mayo 2012 | Jun 2012 | Jul 2012 | Ago 2012 | Sep 2012 | Oct 2012 | Nov 2012 | Dic 2012 | Ene 2013 | Feb 2013 | Mar 2013 | Abr 2013 | Mayo 2013 | Jun 2013 | Jul 2013 | Ago 2013 | Sep 2013 | Oct 2013 | Nov 2013 | Dic 2013 |
| CAUDAL-Modelo_1 | Predicción | 6,81 | 8,77 | 7,75 | 4,79 | 2,21 | 1,55 | 1,37 | 1,28 | 1,19 | 1,36 | 1,98 | 3,29 | 5,86 | 7,92 | 6,84 | 4,46 | 2,14 | 1,56 | 1,38 | 1,28 | 1,30 | 1,42 | 1,91 | 3,22 |
| | UCL | 12,09 | 17,01 | 15,49 | 9,67 | 4,49 | 3,15 | 2,78 | 2,60 | 2,42 | 2,76 | 4,02 | 6,71 | 12,00 | 16,22 | 14,03 | 9,15 | 4,39 | 3,19 | 2,82 | 2,63 | 2,66 | 2,90 | 3,92 | 6,61 |
| | LCL | 3,47 | 3,94 | 3,33 | 2,02 | ,83 | ,65 | ,57 | ,54 | ,50 | ,57 | ,83 | 1,37 | 2,43 | 3,28 | 2,83 | 1,85 | ,89 | ,64 | ,57 | ,53 | ,54 | ,59 | ,79 | 1,33 |
| Para cada modelo, las predicciones empiezan después del último valor no perdido en el rango del período de estimación solicitado, y finaliza en el último período para el cual los valores perdidos de todos los predictores están disponibles o al final de la fecha del período de predicción solicitado, lo que suceda antes. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ene 2014 | Feb 2014 | Mar 2014 | Abr 2014 | Mayo 2014 | Jun 2014 | Jul 2014 | Ago 2014 | Sep 2014 | Oct 2014 | Nov 2014 | Dic 2014 | Ene 2015 | Feb 2015 | Mar 2015 | Abr 2015 | Mayo 2015 | Jun 2015 | Jul 2015 | Ago 2015 | Sep 2015 | Oct 2015 | Nov 2015 | Dic 2015 | | |
| 5,79 | 7,86 | 6,81 | 4,45 | 2,14 | 1,56 | 1,38 | 1,28 | 1,30 | 1,42 | 1,91 | 3,22 | 5,79 | 7,86 | 6,81 | 4,45 | 2,14 | 1,56 | 1,38 | 1,28 | 1,30 | 1,42 | 1,91 | 3,22 | | |
| 11,87 | 16,11 | 13,97 | 9,13 | 4,38 | 3,19 | 2,82 | 2,63 | 2,66 | 2,90 | 3,92 | 6,61 | 11,87 | 16,11 | 13,97 | 9,13 | 4,38 | 3,19 | 2,82 | 2,63 | 2,66 | 2,90 | 3,92 | 6,61 | | |
| 2,39 | 3,25 | 2,81 | 1,84 | ,88 | ,64 | ,57 | ,53 | ,54 | ,59 | ,79 | 1,33 | 2,39 | 3,25 | 2,81 | 1,84 | ,88 | ,64 | ,57 | ,53 | ,54 | ,59 | ,79 | 1,33 | | |
| Ene 2016 | Feb 2016 | Mar 2016 | Abr 2016 | Mayo 2016 | Jun 2016 | Jul 2016 | Ago 2016 | Sep 2016 | Oct 2016 | Nov 2016 | Dic 2016 | Ene 2017 | Feb 2017 | Mar 2017 | Abr 2017 | Mayo 2017 | Jun 2017 | Jul 2017 | Ago 2017 | Sep 2017 | Oct 2017 | Nov 2017 | Dic 2017 | | |
| 5,79 | 7,86 | 6,81 | 4,45 | 2,14 | 1,56 | 1,38 | 1,28 | 1,30 | 1,42 | 1,91 | 3,22 | 5,79 | 7,86 | 6,81 | 4,45 | 2,14 | 1,56 | 1,38 | 1,28 | 1,30 | 1,42 | 1,91 | 3,22 | | |
| 11,87 | 16,11 | 13,97 | 9,13 | 4,38 | 3,19 | 2,82 | 2,63 | 2,66 | 2,90 | 3,92 | 6,61 | 11,87 | 16,12 | 13,97 | 9,13 | 4,38 | 3,19 | 2,82 | 2,63 | 2,66 | 2,90 | 3,92 | 6,61 | | |
| 2,39 | 3,25 | 2,81 | 1,84 | ,88 | ,64 | ,57 | ,53 | ,54 | ,59 | ,79 | 1,33 | 2,39 | 3,25 | 2,81 | 1,84 | ,88 | ,64 | ,57 | ,53 | ,54 | ,59 | ,79 | 1,33 | | |
| Ene 2018 | Feb 2018 | Mar 2018 | Abr 2018 | Mayo 2018 | Jun 2018 | Jul 2018 | Ago 2018 | Sep 2018 | Oct 2018 | Nov 2018 | Dic 2018 | Ene 2019 | Feb 2019 | Mar 2019 | Abr 2019 | Mayo 2019 | Jun 2019 | Jul 2019 | Ago 2019 | Sep 2019 | Oct 2019 | Nov 2019 | Dic 2019 | | |
| 5,79 | 7,86 | 6,81 | 4,45 | 2,14 | 1,56 | 1,38 | 1,28 | 1,30 | 1,42 | 1,91 | 3,22 | 5,79 | 7,86 | 6,81 | 4,45 | 2,14 | 1,56 | 1,38 | 1,28 | 1,30 | 1,42 | 1,91 | 3,22 | | |
| 11,87 | 16,12 | 13,97 | 9,13 | 4,38 | 3,19 | 2,82 | 2,63 | 2,66 | 2,90 | 3,92 | 6,61 | 11,87 | 16,12 | 13,97 | 9,13 | 4,38 | 3,19 | 2,82 | 2,63 | 2,66 | 2,90 | 3,92 | 6,61 | | |
| 2,39 | 3,25 | 2,81 | 1,84 | ,88 | ,64 | ,57 | ,53 | ,54 | ,59 | ,79 | 1,33 | 2,39 | 3,25 | 2,81 | 1,84 | ,88 | ,64 | ,57 | ,53 | ,54 | ,59 | ,79 | 1,33 | | |
| Ene 2020 | Feb 2020 | Mar 2020 | Abr 2020 | Mayo 2020 | Jun 2020 | Jul 2020 | Ago 2020 | Sep 2020 | Oct 2020 | Nov 2020 | Dic 2020 | | | | | | | | | | | | | | |
| 5,79 | 7,86 | 6,81 | 4,45 | 2,14 | 1,56 | 1,38 | 1,28 | 1,30 | 1,42 | 1,91 | 3,22 | | | | | | | | | | | | | | |
| 11,87 | 16,12 | 13,97 | 9,13 | 4,38 | 3,19 | 2,82 | 2,63 | 2,66 | 2,90 | 3,92 | 6,61 | | | | | | | | | | | | | | |
| 2,39 | 3,25 | 2,81 | 1,84 | ,88 | ,64 | ,57 | ,53 | ,54 | ,59 | ,79 | 1,33 | | | | | | | | | | | | | | |

Nota: *Elaboración propia, realizado en IBM SPS Statistics v25.*

Gráfica 56

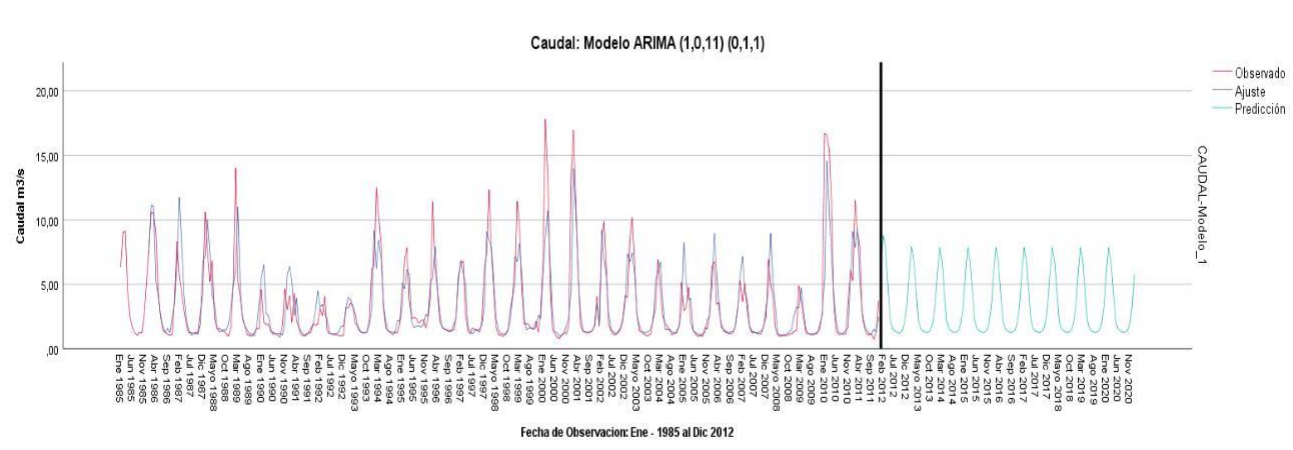
Función de autocorrelación simple y parcial FAS y FAP para caudal



Nota: *Elaboración propia, realizado en IBM SPS Statistics v25.*

Gráfica 57

Representación de caudales observados, ajustados, límites y predicción



Nota: *Elaboración propia, realizado en IBM SPS Statistics v25.*

4.9.2. Análisis de serie temporal de precipitación en la subcuenca Shullcas

Tabla 90

Descripción del modelo para serie temporal de precipitación acumulada

| Descripción del modelo | | | Tipo de modelo |
|------------------------|---------------|----------|-------------------------|
| ID de modelo | PRECIPITACION | Modelo_1 | ARIMA(0,0,2) (1,1,0) |

Nota: Elaboración propia, realizado en IBM SPS Statistics v25.

Tabla 91

Parámetros de ajuste del modelo de precipitación acumulada

| Estadístico de ajuste | Media | SE | Mínimo | Máximo | 5 | 10 | 25 | Percentil | | | | |
|-------------------------|----------|----|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|----------|
| | | | | | | | | 50 | 75 | 90 | 95 | |
| R cuadrado estacionaria | ,487 | . | ,487 | ,487 | ,487 | ,487 | ,487 | ,487 | ,487 | ,487 | ,487 | ,487 |
| R cuadrado | ,737 | . | ,737 | ,737 | ,737 | ,737 | ,737 | ,737 | ,737 | ,737 | ,737 | ,737 |
| RMSE | 29,757 | . | 29,757 | 29,757 | 29,757 | 29,757 | 29,757 | 29,757 | 29,757 | 29,757 | 29,757 | 29,757 |
| MAPE | 99,654 | . | 99,654 | 99,654 | 99,654 | 99,654 | 99,654 | 99,654 | 99,654 | 99,654 | 99,654 | 99,654 |
| MaxAPE | 6303,169 | . | 6303,169 | 6303,169 | 6303,169 | 6303,169 | 6303,169 | 6303,169 | 6303,169 | 6303,169 | 6303,169 | 6303,169 |
| MAE | 21,619 | . | 21,619 | 21,619 | 21,619 | 21,619 | 21,619 | 21,619 | 21,619 | 21,619 | 21,619 | 21,619 |
| MaxAE | 100,529 | . | 100,529 | 100,529 | 100,529 | 100,529 | 100,529 | 100,529 | 100,529 | 100,529 | 100,529 | 100,529 |
| BIC normalizado | 6,966 | . | 6,966 | 6,966 | 6,966 | 6,966 | 6,966 | 6,966 | 6,966 | 6,966 | 6,966 | 6,966 |

Nota: Elaboración propia, realizado en IBM SPS Statistics v25.

Tabla 92

Estadísticos del modelo para la precipitación acumulada

| Modelo | Número de predictores | R cuadrado estacionaria | Estadísticos de ajuste del modelo | | | | BIC normalizado | Ljung-Box Q(18) | | | Número de valores atípicos |
|------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------------------|--------|--------|--------|-----------------|-----------------|----|------|----------------------------|
| | | | R cuadrado | RMSE | MAPE | MAE | | Estadísticos | DF | Sig. | |
| PRECIPITACION-Modelo_1 | 0 | ,487 | ,737 | 29,757 | 99,654 | 21,619 | 6,966 | 17,736 | 15 | ,277 | 8 |

Nota: Elaboración propia, realizado en IBM SPS Statistics v25.

Tabla 93

Parámetros de ajuste del modelo ARIMA para precipitación acumulada

| Parámetros del modelo ARIMA | | | | Estimación | SE | t | Sig. | |
|-----------------------------|---------------|------------------------|-----------|------------|-------|--------|--------|------|
| PRECIPITACION-Modelo_1 | PRECIPITACION | Ninguna transformación | MA | Retardo 1 | -,192 | ,054 | -3,589 | ,000 |
| | | | | Retardo 2 | -,145 | ,054 | -2,671 | ,008 |
| | | AR, estacional | Retardo 1 | -,439 | ,050 | -8,849 | ,000 | |
| | | Diferencia estacional | | 1 | | | | |

Nota: Elaboración propia, realizado en IBM SPS Statistics v25.

Tabla 94

Límite superior, inferior y valor del pronóstico de precipitación acumulada

| | | Predicción | | | | | | | | | | | |
|------------------------|------------|------------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Modelo | | Ene 2016 | Feb 2016 | Mar 2016 | Abr 2016 | Mayo 2016 | Jun 2016 | Jul 2016 | Ago 2016 | Sep 2016 | Oct 2016 | Nov 2016 | Dic 2016 |
| PRECIPITACION-Modelo_1 | Predicción | 139,66 | 84,29 | 51,45 | 52,25 | 31,23 | 6,18 | 13,68 | 13,62 | 60,12 | 61,58 | 76,54 | 115,88 |
| | UCL | 197,69 | 143,38 | 111,14 | 111,93 | 90,92 | 65,96 | 73,37 | 73,31 | 119,81 | 121,26 | 136,22 | 175,57 |
| | LCL | 81,63 | 25,20 | -8,23 | -7,44 | -28,45 | -53,51 | -46,00 | -46,06 | ,44 | 1,89 | 16,85 | 56,20 |

Para cada modelo, las predicciones empiezan después del último valor no perdido en el rango del período de estimación solicitado, y finaliza en el último período para el cual los valores perdidos d

| Ene 2017 | Feb 2017 | Mar 2017 | Abr 2017 | Mayo 2017 | Jun 2017 | Jul 2017 | Ago 2017 | Sep 2017 | Oct 2017 | Nov 2017 | Dic 2017 |
|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 133,74 | 87,61 | 51,43 | 51,88 | 23,34 | 5,05 | 13,37 | 14,64 | 56,59 | 63,27 | 76,06 | 114,63 |
| 201,72 | 155,88 | 119,86 | 120,31 | 91,77 | 73,48 | 81,80 | 83,07 | 125,02 | 131,70 | 144,49 | 183,06 |
| 65,76 | 19,34 | -16,99 | -16,55 | -45,09 | -63,37 | -55,06 | -53,79 | -11,84 | -5,16 | 7,63 | 46,20 |

de todos los predictores están disponibles o al final de la fecha del periodo de predicción solicitado, lo que suceda antes.

| Ene 2018 | Feb 2018 | Mar 2018 | Abr 2018 | Mayo 2018 | Jun 2018 | Jul 2018 | Ago 2018 | Sep 2018 | Oct 2018 | Nov 2018 | Dic 2018 |
|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 136,34 | 86,15 | 51,44 | 52,04 | 26,81 | 5,55 | 13,51 | 14,19 | 58,14 | 62,53 | 76,27 | 115,18 |
| 217,56 | 167,80 | 133,33 | 133,93 | 108,70 | 87,44 | 95,40 | 96,08 | 140,03 | 144,42 | 158,16 | 197,07 |
| 55,13 | 4,51 | -30,45 | -29,85 | -55,08 | -76,34 | -68,38 | -67,70 | -23,75 | -19,36 | -5,62 | 33,29 |

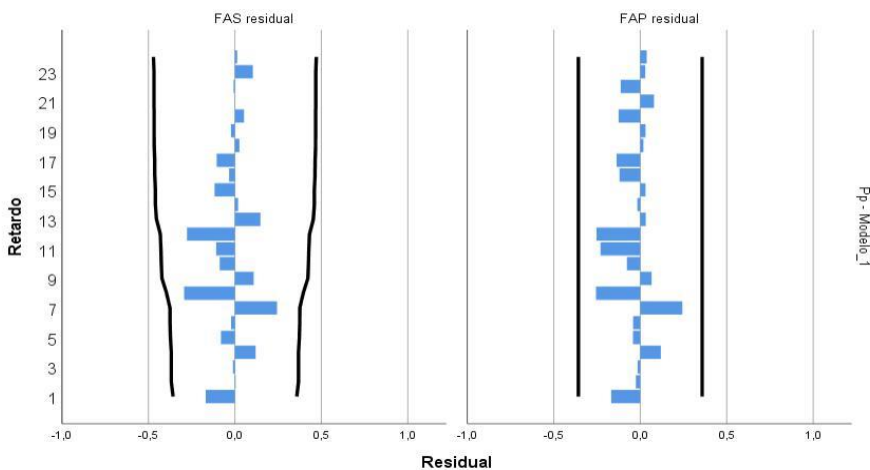
| Ene 2019 | Feb 2019 | Mar 2019 | Abr 2019 | Mayo 2019 | Jun 2019 | Jul 2019 | Ago 2019 | Sep 2019 | Oct 2019 | Nov 2019 | Dic 2019 |
|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 135,20 | 86,79 | 51,44 | 51,97 | 25,28 | 5,33 | 13,45 | 14,39 | 57,46 | 62,85 | 76,18 | 114,94 |
| 225,83 | 177,72 | 142,54 | 143,08 | 116,39 | 96,43 | 104,55 | 105,49 | 148,56 | 153,96 | 167,28 | 206,04 |
| 44,58 | -4,14 | -39,67 | -39,13 | -65,82 | -85,77 | -77,66 | -76,72 | -33,64 | -28,25 | -14,93 | 23,83 |

| Ene 2020 | Feb 2020 | Mar 2020 | Abr 2020 | Mayo 2020 | Jun 2020 | Jul 2020 | Ago 2020 | Sep 2020 | Oct 2020 | Nov 2020 | Dic 2020 |
|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 135,70 | 86,51 | 51,44 | 52,00 | 25,95 | 5,43 | 13,47 | 14,30 | 57,76 | 62,71 | 76,22 | 115,04 |
| 235,60 | 186,72 | 151,82 | 152,38 | 126,33 | 105,81 | 113,85 | 114,68 | 158,14 | 163,09 | 176,60 | 215,42 |
| 35,81 | -13,70 | -48,94 | -48,38 | -74,43 | -94,96 | -86,91 | -86,08 | -42,62 | -37,67 | -24,16 | 14,66 |

Nota: Elaboración propia, realizado en IBM SPS Statistics v25.

Gráfica 58

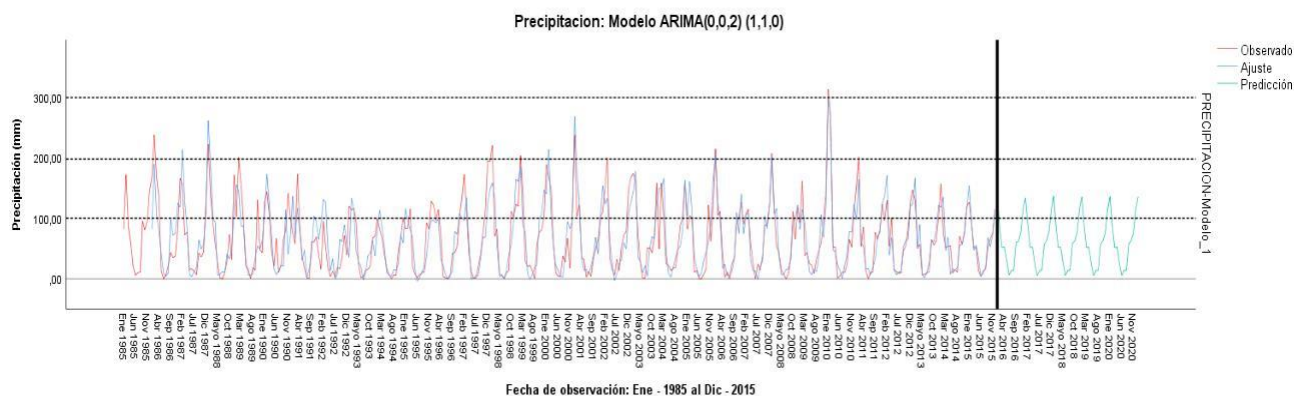
Función de autocorrelación simple y parcial FAS y FAP en precipitación acumulada



Nota: Elaboración propia, realizado en IBM SPS Statistics v25.

Gráfica 59

Representación en precipitación acumulada: observados, ajustados, límites y predicción



Nota: Elaboración propia, realizado en IBM SPS Statistics v25.

4.9.3. Análisis de serie temporal de temperatura media en la subcuenca Shullcas

Tabla 95

Descripción del modelo para serie temporal de temperatura

| Descripción del modelo | | | |
|------------------------|------|----------|----------------|
| | | | Tipo de modelo |
| ID de modelo | Tmed | Modelo_1 | ARIMA(7,1,0) |

Nota: Elaboración propia, realizado en IBM SPS Statistics v25.

Tabla 96

Descripción del modelo para serie temporal de temperatura

| Ajuste del modelo | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|--------|----|--------|--------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Estadístico de ajuste | Media | SE | Mínimo | Máximo | Percentil | | | | | | |
| | | | | | 5 | 10 | 25 | 50 | 75 | 90 | 95 |
| R cuadrado estacionaria | ,331 | . | ,331 | ,331 | ,331 | ,331 | ,331 | ,331 | ,331 | ,331 | ,331 |
| R cuadrado | ,556 | . | ,556 | ,556 | ,556 | ,556 | ,556 | ,556 | ,556 | ,556 | ,556 |
| RMSE | ,296 | . | ,296 | ,296 | ,296 | ,296 | ,296 | ,296 | ,296 | ,296 | ,296 |
| MAPE | 1,697 | . | 1,697 | 1,697 | 1,697 | 1,697 | 1,697 | 1,697 | 1,697 | 1,697 | 1,697 |
| MaxAPE | 5,983 | . | 5,983 | 5,983 | 5,983 | 5,983 | 5,983 | 5,983 | 5,983 | 5,983 | 5,983 |
| MAE | ,201 | . | ,201 | ,201 | ,201 | ,201 | ,201 | ,201 | ,201 | ,201 | ,201 |
| MaxAE | ,682 | . | ,682 | ,682 | ,682 | ,682 | ,682 | ,682 | ,682 | ,682 | ,682 |
| BIC normalizado | -1,531 | . | -1,531 | -1,531 | -1,531 | -1,531 | -1,531 | -1,531 | -1,531 | -1,531 | -1,531 |

Nota: Elaboración propia, realizado en IBM SPS Statistics v25.

Tabla 97

Estadísticos del modelo para la temperatura

| Estadísticos del modelo | | | | | | | | | |
|-------------------------|-----------------------|-----------------------------------|------------|------|-------|-----------------|----|------|----------------------------|
| Modelo | Número de predictores | Estadísticos de ajuste del modelo | | | | Ljung-Box Q(18) | | | Número de valores atípicos |
| | | R cuadrado estacionaria | R cuadrado | RMSE | MAPE | Estadísticos | DF | Sig. | |
| Tmed-Modelo_1 | 0 | ,331 | ,556 | ,296 | 1,697 | 8,987 | 11 | ,623 | 0 |

Nota: Elaboración propia, realizado en IBM SPS Statistics v25.

Tabla 98

Parámetros de ajuste del modelo ARIMA para temperatura

| Parámetros del modelo ARIMA | | | | Estimación | SE | t | Sig. |
|-----------------------------|------|------------------------|--------------|------------|------|--------|------|
| Modelo | Tmed | Ninguna transformación | Constante | | | | |
| Tmed-Modelo_1 | Tmed | Ninguna transformación | Constante | ,043 | ,026 | 1,679 | ,107 |
| | | | AR Retardo 1 | -,599 | ,229 | -2,620 | ,016 |
| | | | Retardo 2 | -,422 | ,281 | -1,505 | ,147 |
| | | | Retardo 3 | -,191 | ,286 | -,668 | ,511 |
| | | | Retardo 4 | -,304 | ,274 | -1,110 | ,279 |
| | | | Retardo 5 | ,030 | ,309 | ,096 | ,925 |
| | | | Retardo 6 | ,093 | ,289 | ,322 | ,750 |
| | | | Retardo 7 | ,252 | ,236 | 1,070 | ,296 |
| | | | Diferencia | 1 | | | |

Nota: Elaboración propia, realizado en IBM SPS Statistics v25.

Tabla 99

Límite superior, inferior y valor del pronóstico de temperatura

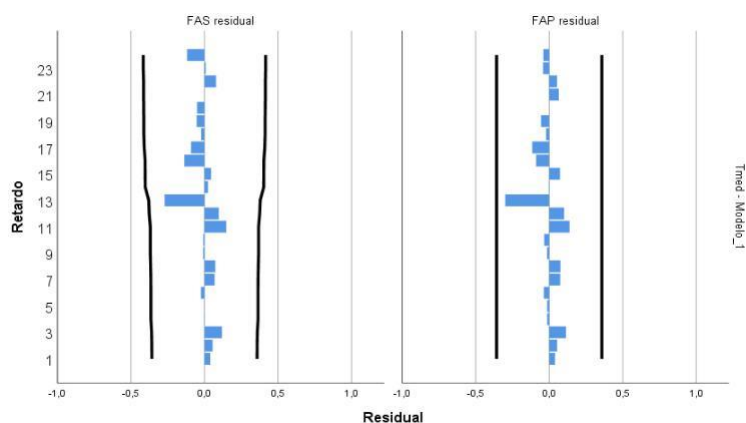
| Predicción | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Modelo | | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 |
| Tmed-Modelo_1 | Predicción | 12,23 | 12,27 | 12,12 | 12,30 | 12,26 | 12,35 | 12,39 | 12,43 | 12,48 | 12,46 | 12,57 | 12,58 | 12,64 | 12,69 | 12,71 |
| | UCL | 12,82 | 12,91 | 12,78 | 13,01 | 12,98 | 13,14 | 13,23 | 13,34 | 13,42 | 13,43 | 13,58 | 13,62 | 13,73 | 13,82 | 13,86 |
| | LCL | 11,64 | 11,64 | 11,45 | 11,58 | 11,53 | 11,56 | 11,55 | 11,51 | 11,53 | 11,49 | 11,56 | 11,54 | 11,55 | 11,56 | 11,55 |

Para cada modelo, las predicciones empiezan después del último valor no perdido en el rango del período de estimación solicitado, y finaliza en el último período para el cual los valores perdidos de todos los predictores están disponibles o al final de la fecha del período de predicción solicitado, lo que suceda antes.

Nota: Elaboración propia, realizado en IBM SPS Statistics v25.

Gráfica 60

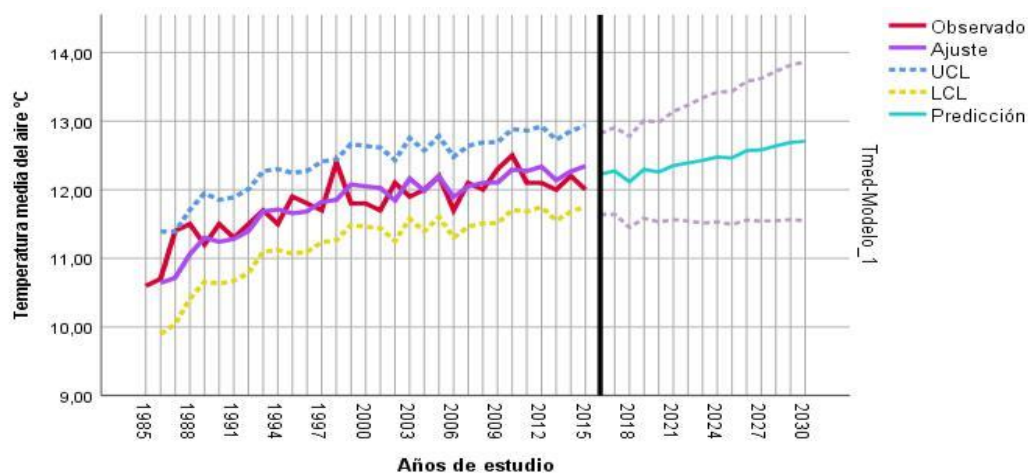
Función de autocorrelación simple y parcial FAS y FAP para temperatura



Nota: *Elaboración propia, realizado en IBM SPS Statistics v25.*

Gráfica 61

Representación de temperatura de aire: observados, ajustados, límites y predicción



Nota: *Elaboración propia, realizado en IBM SPS Statistics v25.*

4.9.4. Análisis de serie temporal para el área del glaciar Huaytapallana

Tabla 100

Descripción del modelo para serie temporal evolución de área glaciar

| Descripción del modelo | | | |
|------------------------|------|----------|----------------|
| | | | Tipo de modelo |
| ID de modelo | Area | Modelo_1 | ARIMA(7,1,1) |

Nota: Elaboración propia, realizado en IBM SPS Statistics v25.

Tabla 101

Parámetros de ajuste del modelo de área glaciar

| Ajuste del modelo | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|--------|----|--------|--------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Estadístico de ajuste | Media | SE | Mínimo | Máximo | Percentil | | | | | | |
| | | | | | 5 | 10 | 25 | 50 | 75 | 90 | 95 |
| R cuadrado estacionaria | ,198 | . | ,198 | ,198 | ,198 | ,198 | ,198 | ,198 | ,198 | ,198 | ,198 |
| R cuadrado | ,809 | . | ,809 | ,809 | ,809 | ,809 | ,809 | ,809 | ,809 | ,809 | ,809 |
| RMSE | 1,673 | . | 1,673 | 1,673 | 1,673 | 1,673 | 1,673 | 1,673 | 1,673 | 1,673 | 1,673 |
| MAPE | 5,132 | . | 5,132 | 5,132 | 5,132 | 5,132 | 5,132 | 5,132 | 5,132 | 5,132 | 5,132 |
| MaxAPE | 12,117 | . | 12,117 | 12,117 | 12,117 | 12,117 | 12,117 | 12,117 | 12,117 | 12,117 | 12,117 |
| MAE | 1,154 | . | 1,154 | 1,154 | 1,154 | 1,154 | 1,154 | 1,154 | 1,154 | 1,154 | 1,154 |
| MaxAE | 2,818 | . | 2,818 | 2,818 | 2,818 | 2,818 | 2,818 | 2,818 | 2,818 | 2,818 | 2,818 |
| BIC normalizado | 2,050 | . | 2,050 | 2,050 | 2,050 | 2,050 | 2,050 | 2,050 | 2,050 | 2,050 | 2,050 |

Nota: Elaboración propia, realizado en IBM SPS Statistics v25.

Tabla 102

Estadísticos del modelo para área de glaciar

| Estadísticos del modelo | | | | | | | | | |
|-------------------------|-----------------------|-----------------------------------|------------|-------|-------|-----------------|----|------|----------------------------|
| Modelo | Número de predictores | Estadísticos de ajuste del modelo | | | | Ljung-Box Q(18) | | | Número de valores atípicos |
| | | R cuadrado estacionaria | R cuadrado | RMSE | MAPE | Estadísticos | DF | Sig. | |
| Area-Modelo_1 | 0 | ,198 | ,809 | 1,673 | 5,132 | 6,543 | 10 | ,768 | 0 |

Nota: Elaboración propia, realizado en IBM SPS Statistics v25.

Tabla 103

Parámetros de ajuste del modelo ARIMA de área del glaciar

| Parámetros del modelo ARIMA | | | | Estimación | SE | t | Sig. | |
|-----------------------------|------|------------------------|------------|------------|--------|--------|--------|------|
| Area-Modelo_1 | Area | Ninguna transformación | Constante | -,385 | ,195 | -1,973 | ,062 | |
| | | | AR | Retardo 1 | -1,264 | ,424 | -2,984 | ,007 |
| | | | | Retardo 2 | -,645 | ,383 | -1,683 | ,107 |
| | | | | Retardo 3 | -,391 | ,397 | -,986 | ,335 |
| | | | | Retardo 4 | -,185 | ,400 | -,464 | ,648 |
| | | | | Retardo 5 | ,228 | ,400 | ,570 | ,575 |
| | | | | Retardo 6 | ,216 | ,370 | ,584 | ,565 |
| | | | | Retardo 7 | ,110 | ,277 | ,396 | ,696 |
| | | | Diferencia | 1 | | | | |
| | | | MA | Retardo 1 | -,997 | 12,285 | -,081 | ,936 |

Nota: Elaboración propia, realizado en IBM SPS Statistics v25.

Tabla 104

Límite superior, inferior y valor del pronóstico de área glaciar

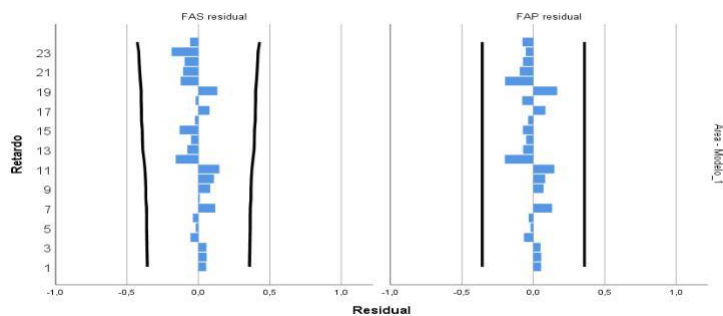
| | | Predicción | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|------------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Modelo | | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 |
| Area-Modelo_1 | Predicción | 19,77 | 18,15 | 19,24 | 17,13 | 18,41 | 16,86 | 17,27 | 16,44 | 16,04 | 16,04 | 15,12 | 15,36 | 14,32 | 14,49 | 13,72 |
| | UCL | 23,06 | 22,17 | 23,50 | 21,79 | 23,36 | 22,62 | 23,35 | 22,94 | 22,80 | 23,17 | 22,64 | 23,18 | 22,47 | 22,87 | 22,44 |
| | LCL | 16,48 | 14,13 | 14,97 | 12,46 | 13,46 | 11,11 | 11,20 | 9,94 | 9,29 | 8,90 | 7,60 | 7,55 | 6,18 | 6,10 | 5,00 |

Para cada modelo, las predicciones empiezan después del último valor no perdido en el rango del período de estimación solicitado, y finaliza en el último período para el cual los valores perdidos de todos los predictores están disponibles o al final de la fecha del periodo de predicción solicitado, lo que suceda antes.

Nota: *Elaboración propia, realizado en IBM SPS Statistics v25.*

Gráfica 62

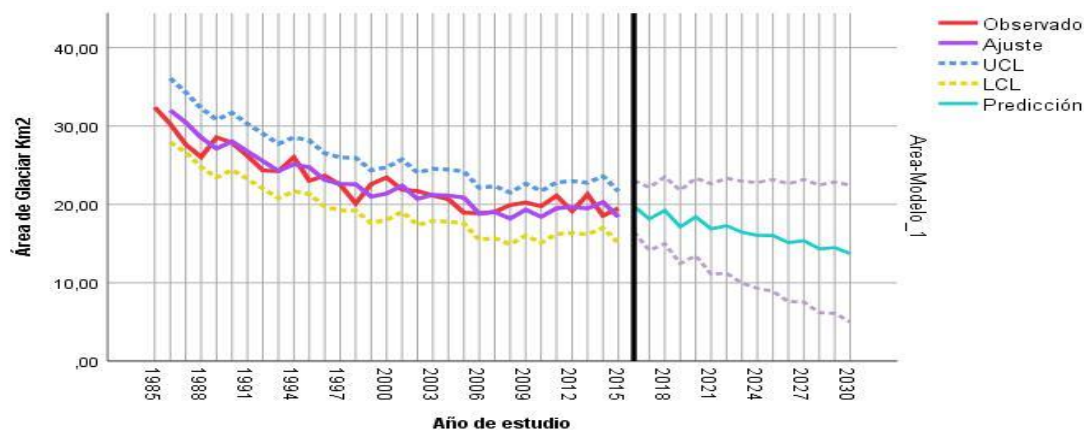
Función de autocorrelación simple y parcial FAS y FAP del área glaciar



Nota: *Elaboración propia, realizado en IBM SPS Statistics v25.*

Gráfica 63

Representación de área glaciar: observados, ajustados, límites y predicción



Nota: *Elaboración propia, realizado en IBM SPS Statistics v25.*

4.9.5. Resumen de valores históricos medidos y estimados

La siguiente tabla se muestra de los siguientes parámetros: OBS es el valor medido de la variable que se registró de forma validada por una estación competente, UCL es el límite superior de confianza del 95%, LCL es el límite inferior de confianza del 95%, AJUS es el valor ajustado según la media móvil de la serie temporal y PRED es el valor que se ha conseguido mediante el modelo ARIMA.

Tabla 105

Valores estimados por modelo ARIMA para precipitación y caudal medio

| T° | PRECIPITACIÓN mm | | | | | CAUDAL m ³ /s | | | | | |
|------|------------------|--------|-------|--------|-------|--------------------------|------|------|------|-------|-------|
| | AÑO | OBS. | UCL | LCL | AJUS. | PRED. | OBS. | UCL | LCL | AJUS. | PRED. |
| 1985 | 861.1 | --- | --- | --- | --- | 3.79 | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1986 | 945.9 | 1172.8 | 552.3 | 888.0 | --- | 4.57 | 6.89 | 0.71 | 4.45 | --- | --- |
| 1987 | 768.6 | 1234.4 | 626.7 | 857.9 | --- | 3.05 | 7.24 | 1.40 | 4.01 | --- | --- |
| 1988 | 851.3 | 1056.0 | 513.8 | 906.8 | --- | 3.54 | 6.33 | 0.66 | 3.74 | --- | --- |
| 1989 | 841.6 | 1160.6 | 630.4 | 727.1 | --- | 3.32 | 6.46 | 0.88 | 3.40 | --- | --- |
| 1990 | 927.8 | 1107.6 | 577.5 | 779.5 | --- | 2.15 | 6.33 | 0.75 | 2.70 | --- | --- |
| 1991 | 679.6 | 1155.6 | 652.2 | 794.0 | --- | 1.98 | 5.45 | 0.00 | 2.58 | --- | --- |
| 1992 | 450.4 | 843.6 | 416.0 | 724.1 | --- | 1.72 | 5.35 | 0.00 | 2.14 | --- | --- |
| 1993 | 799.2 | 888.2 | 519.7 | 565.1 | --- | 2.59 | 5.12 | 0.00 | 2.35 | --- | --- |
| 1994 | 712.4 | 955.1 | 586.6 | 537.8 | --- | 4.21 | 5.41 | 0.26 | 3.84 | --- | --- |
| 1995 | 678.8 | 857.9 | 489.4 | 608.9 | --- | 3.28 | 6.17 | 1.09 | 3.15 | --- | --- |
| 1996 | 647.1 | 874.6 | 506.1 | 626.7 | --- | 3.33 | 6.05 | 1.02 | 3.18 | --- | --- |
| 1997 | 799.4 | 952.7 | 584.2 | 695.1 | --- | 3.24 | 6.20 | 1.20 | 3.09 | --- | --- |
| 1998 | 871.1 | 1185.4 | 816.9 | 871.1 | --- | 3.86 | 6.04 | 1.07 | 3.79 | --- | --- |
| 1999 | 807.2 | 884.7 | 516.2 | 918.9 | --- | 3.8 | 5.78 | 0.83 | 3.58 | --- | --- |
| 2000 | 744.3 | 868.4 | 499.9 | 871.9 | --- | 4.42 | 5.62 | 0.70 | 3.74 | --- | --- |
| 2001 | 845.0 | 1018.1 | 649.6 | 911.9 | --- | 5.16 | 5.85 | 0.94 | 4.15 | --- | --- |
| 2002 | 900.2 | 1026.9 | 658.4 | 777.5 | --- | 3.41 | 6.22 | 1.33 | 3.25 | --- | --- |
| 2003 | 901.7 | 960.4 | 591.9 | 857.8 | --- | 3.47 | 5.64 | 0.76 | 3.42 | --- | --- |
| 2004 | 730.9 | 950.2 | 581.7 | 918.9 | --- | 2.74 | 5.64 | 0.77 | 2.91 | --- | --- |
| 2005 | 695.5 | 988.3 | 619.8 | 832.7 | --- | 2.03 | 5.34 | 0.48 | 2.78 | --- | --- |
| 2006 | 894.9 | 1014.0 | 645.5 | 844.6 | --- | 2.77 | 4.92 | 0.07 | 3.03 | --- | --- |
| 2007 | 807.7 | 985.7 | 617.2 | 701.3 | --- | 2.42 | 5.32 | 0.48 | 2.85 | --- | --- |
| 2008 | 799.6 | 919.7 | 551.2 | 849.6 | --- | 2.21 | 5.42 | 0.59 | 2.75 | --- | --- |
| 2009 | 890.4 | 986.1 | 617.6 | 707.3 | --- | 2.00 | 5.63 | 0.80 | 2.18 | --- | --- |
| 2010 | 913.4 | 1128.6 | 760.1 | 1029.2 | --- | 6.52 | 5.8 | 0.97 | 4.63 | --- | --- |
| 2011 | 949.6 | 1167.7 | 799.2 | 735.9 | --- | 3.93 | 7.03 | 2.21 | 3.78 | --- | --- |
| 2012 | 786.3 | 999.7 | 631.3 | 760.3 | --- | 3.31 | 6.26 | 1.44 | 3.53 | --- | --- |
| 2013 | 767.7 | 979.8 | 611.3 | 786.0 | --- | --- | 6.1 | 1.29 | --- | --- | 2.14 |
| 2014 | 815.6 | 1053.5 | 685.1 | 724.1 | --- | --- | 6.29 | 1.48 | --- | --- | 2.37 |
| 2015 | 728.0 | 949.3 | 580.8 | 722.4 | --- | --- | 5.72 | 0.75 | --- | --- | 2.34 |
| 2016 | --- | 910.4 | 541.9 | --- | 706.5 | --- | 5.33 | 0.36 | --- | --- | 2.49 |
| 2017 | --- | 945.1 | 531.3 | --- | 691.6 | --- | 5.4 | 0.43 | --- | --- | 2.57 |
| 2018 | --- | 1050.8 | 610.2 | --- | 698.2 | --- | 5.79 | 0.83 | --- | --- | 4.28 |
| 2019 | --- | 1129.2 | 654.5 | --- | 695.3 | --- | 5.88 | 0.86 | --- | --- | 4.83 |
| 2020 | --- | 1068.4 | 573.4 | --- | 696.5 | --- | 5.97 | 0.84 | --- | --- | 3.56 |
| 2030 | --- | 1078.5 | 623.5 | --- | 821.5 | --- | 6.27 | 0.78 | --- | --- | 2.95 |
| 2040 | --- | 1032.8 | 674.2 | --- | 745.0 | --- | 5.74 | 0.72 | --- | --- | 2.76 |
| 2050 | --- | 1061.2 | 621.2 | --- | 750.0 | --- | 7.15 | 0.67 | --- | --- | 2.42 |

Nota: Elaboración propia, realizado en IBM SPS Statistics v25.

Tabla 106

Valores estimados por modelo ARIMA para área glaciar y temperatura media

| T° AÑO | AREA GLACIAR Km ² | | | | | TEMPERATURA MEDIA °C | | | | |
|-----------|------------------------------|-------|-------|-------|-------|----------------------|-------|-------|-------|-------|
| | OBS. | UCL | LCL | AJUS. | PRED. | OBS. | UCL | LCL | AJUS. | PRED. |
| 1985 | 32.39 | --- | --- | --- | --- | 10.62 | --- | --- | --- | --- |
| 1986 | 30.25 | 36.04 | 27.95 | 31.99 | --- | 10.70 | 11.39 | 9.90 | 10.64 | --- |
| 1987 | 27.65 | 34.25 | 26.72 | 30.48 | --- | 11.40 | 11.39 | 10.05 | 10.72 | --- |
| 1988 | 26.03 | 32.11 | 24.64 | 28.38 | --- | 11.50 | 11.71 | 10.41 | 11.06 | --- |
| 1989 | 28.56 | 30.95 | 24.09 | 27.52 | --- | 11.15 | 11.95 | 10.66 | 11.30 | --- |
| 1990 | 27.86 | 31.63 | 24.78 | 28.21 | --- | 11.45 | 11.85 | 10.63 | 11.24 | --- |
| 1991 | 26.19 | 30.72 | 23.88 | 27.30 | --- | 11.30 | 11.89 | 10.67 | 11.28 | --- |
| 1992 | 24.33 | 28.63 | 21.80 | 25.21 | --- | 11.50 | 12.01 | 10.79 | 11.40 | --- |
| 1993 | 24.23 | 28.21 | 21.39 | 24.80 | --- | 11.65 | 12.27 | 11.10 | 11.68 | --- |
| 1994 | 26.01 | 28.20 | 21.38 | 24.79 | --- | 11.45 | 12.3 | 11.12 | 11.71 | --- |
| 1995 | 23.02 | 28.55 | 21.73 | 25.14 | --- | 11.86 | 12.24 | 11.07 | 11.66 | --- |
| 1996 | 23.66 | 26.62 | 19.80 | 23.21 | --- | 11.75 | 12.27 | 11.10 | 11.68 | --- |
| 1997 | 22.51 | 25.79 | 18.98 | 22.39 | --- | 11.70 | 12.41 | 11.23 | 11.82 | --- |
| 1998 | 20.13 | 26.58 | 19.77 | 23.17 | --- | 12.35 | 12.44 | 11.26 | 11.85 | --- |
| 1999 | 22.58 | 24.04 | 17.23 | 20.63 | --- | 11.75 | 12.66 | 11.49 | 12.08 | --- |
| 2000 | 23.43 | 25.06 | 18.26 | 21.66 | --- | 11.75 | 12.64 | 11.46 | 12.05 | --- |
| 2001 | 21.86 | 25.79 | 18.98 | 22.38 | --- | 11.70 | 12.61 | 11.44 | 12.03 | --- |
| 2002 | 21.71 | 23.92 | 17.12 | 20.52 | --- | 12.05 | 12.43 | 11.25 | 11.84 | --- |
| 2003 | 21.13 | 24.26 | 17.45 | 20.86 | --- | 11.90 | 12.75 | 11.57 | 12.16 | --- |
| 2004 | 20.66 | 24.60 | 17.79 | 21.19 | --- | 11.95 | 12.57 | 11.40 | 11.98 | --- |
| 2005 | 18.94 | 23.88 | 17.08 | 20.48 | --- | 12.20 | 12.78 | 11.60 | 12.19 | --- |
| 2006 | 18.87 | 22.69 | 15.89 | 19.29 | --- | 11.72 | 12.48 | 11.30 | 11.89 | --- |
| 2007 | 19.06 | 22.10 | 15.30 | 18.70 | --- | 12.10 | 12.64 | 11.46 | 12.05 | --- |
| 2008 | 19.92 | 22.20 | 15.40 | 18.80 | --- | 11.95 | 12.69 | 11.51 | 12.10 | --- |
| 2009 | 20.24 | 22.08 | 15.28 | 18.68 | --- | 12.30 | 12.69 | 11.51 | 12.10 | --- |
| 2010 | 19.77 | 22.17 | 15.37 | 18.77 | --- | 12.45 | 12.88 | 11.71 | 12.30 | --- |
| 2011 | 21.10 | 22.07 | 15.26 | 18.66 | --- | 12.10 | 12.86 | 11.68 | 12.27 | --- |
| 2012 | 19.14 | 22.95 | 16.14 | 19.55 | --- | 12.05 | 12.92 | 11.75 | 12.34 | --- |
| 2013 | 21.27 | 22.54 | 15.74 | 19.14 | --- | 11.95 | 12.73 | 11.55 | 12.14 | --- |
| 2014 | 18.56 | 22.87 | 16.07 | 19.47 | --- | 12.15 | 12.86 | 11.68 | 12.27 | --- |
| 2015 | 19.50 | 22.57 | 15.77 | 19.17 | --- | 11.95 | 12.93 | 11.76 | 12.34 | --- |
| 2016 | 15.62 | 21.65 | 14.85 | 18.25 | --- | --- | 12.82 | 11.64 | --- | 12.23 |
| 2017 | 17.46 | 20.72 | 13.92 | 17.32 | --- | --- | 12.91 | 11.64 | --- | 12.27 |
| 2018 | 17.32 | 20.10 | 13.30 | 16.70 | --- | --- | 12.78 | 11.45 | --- | 12.12 |
| 2019 | 18.23 | 20.76 | 13.96 | 17.36 | --- | --- | 13.01 | 11.58 | --- | 12.30 |
| 2020 | --- | 19.65 | 11.99 | --- | 16.51 | --- | 12.98 | 11.53 | --- | 12.26 |
| 2021 | --- | 19.65 | 11.99 | --- | 15.82 | --- | 13.14 | 11.56 | --- | 12.35 |
| 2022 | --- | 19.77 | 11.51 | --- | 15.64 | --- | 13.23 | 11.55 | --- | 12.39 |
| 2023 | --- | 19.72 | 11.31 | --- | 15.52 | --- | 13.34 | 11.51 | --- | 12.43 |
| 2024 | --- | 20.03 | 10.94 | --- | 15.48 | --- | 13.42 | 11.53 | --- | 12.48 |
| 2025 | --- | 19.37 | 9.55 | --- | 14.46 | --- | 13.43 | 11.49 | --- | 12.46 |
| 2026 | --- | 19.58 | 9.09 | --- | 14.34 | --- | 13.58 | 11.56 | --- | 12.57 |
| 2027 | --- | 19.02 | 8.12 | --- | 13.57 | --- | 13.62 | 11.54 | --- | 12.58 |
| 2028 | --- | 19.38 | 8.13 | --- | 13.76 | --- | 13.73 | 11.55 | --- | 12.64 |
| 2029 | --- | 18.81 | 7.07 | --- | 12.94 | --- | 13.82 | 11.56 | --- | 12.69 |
| 2030 | --- | 18.95 | 6.76 | --- | 12.86 | --- | 13.86 | 11.55 | --- | 12.71 |
| 2040 | --- | 12.54 | 5.34 | --- | 8.37 | --- | 13.71 | 11.78 | --- | 12.98 |
| 2050 | --- | 6.57 | 2.57 | --- | 4.67 | --- | 13.94 | 11.53 | --- | 13.27 |

Nota: Elaboración propia, realizado en IBM SPS Statistics v25.

4.9.6. Integración de variables de rendimiento hídrico y retroceso glaciar

Tabla 107

Resumen de variables hídricas y climáticas modelizadas en el tiempo

| AÑO | Pp. | Esc. | Def. | Q.real | Q.esc | Q.gla | T °C | A.gla | ENSO | R.H |
|------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
| 1985 | 861.1 | 407.4 | 453.7 | 3.79 | 3.34 | 0.45 | 10.64 | 32.39 | -1.0 | 16.33 |
| 1986 | 945.9 | 403.1 | 542.8 | 4.45 | 3.99 | 0.46 | 10.72 | 31.99 | 1.2 | 19.69 |
| 1987 | 768.6 | 292.7 | 475.9 | 4.01 | 3.50 | 0.51 | 11.06 | 30.48 | 1.7 | 13.14 |
| 1988 | 851.3 | 402.1 | 449.2 | 3.74 | 3.31 | 0.43 | 11.30 | 28.38 | -1.8 | 15.25 |
| 1989 | 841.6 | 438.0 | 403.6 | 3.40 | 2.97 | 0.43 | 11.24 | 27.52 | -1.7 | 14.31 |
| 1990 | 927.8 | 615.2 | 312.6 | 2.70 | 2.30 | 0.40 | 11.28 | 28.21 | 0.4 | 9.26 |
| 1991 | 679.6 | 388.6 | 291.0 | 2.58 | 2.14 | 0.44 | 11.40 | 27.30 | 1.5 | 8.53 |
| 1992 | 450.4 | 218.6 | 231.8 | 2.14 | 1.71 | 0.43 | 11.68 | 25.21 | 1.7 | 7.41 |
| 1993 | 799.2 | 553.0 | 246.2 | 2.35 | 1.81 | 0.54 | 11.71 | 24.80 | 0.5 | 11.16 |
| 1994 | 712.4 | 255.5 | 456.9 | 3.84 | 3.36 | 0.48 | 11.66 | 24.79 | 1.1 | 18.14 |
| 1995 | 678.8 | 345.7 | 333.1 | 3.15 | 2.45 | 0.70 | 11.68 | 25.14 | -1.0 | 14.13 |
| 1996 | 647.1 | 293.4 | 353.7 | 3.18 | 2.60 | 0.58 | 11.82 | 23.21 | -0.9 | 14.35 |
| 1997 | 799.4 | 447.9 | 351.5 | 3.09 | 2.59 | 0.50 | 11.85 | 22.39 | 2.4 | 13.96 |
| 1998 | 871.1 | 412.7 | 458.4 | 3.79 | 3.37 | 0.42 | 12.08 | 23.17 | 2.2 | 16.63 |
| 1999 | 807.2 | 396.8 | 410.4 | 3.58 | 3.02 | 0.56 | 12.05 | 20.63 | -1.7 | 16.37 |
| 2000 | 744.3 | 283.8 | 460.5 | 3.74 | 3.39 | 0.35 | 12.03 | 21.66 | -1.7 | 19.05 |
| 2001 | 845.0 | 353.0 | 492.0 | 4.15 | 3.62 | 0.53 | 11.84 | 22.38 | -0.7 | 22.23 |
| 2002 | 900.2 | 523.4 | 376.8 | 3.25 | 2.77 | 0.48 | 12.16 | 20.52 | 1.1 | 14.69 |
| 2003 | 901.7 | 497.7 | 404.0 | 3.42 | 2.97 | 0.45 | 11.98 | 20.86 | 0.9 | 14.95 |
| 2004 | 730.9 | 399.2 | 331.7 | 2.91 | 2.44 | 0.47 | 12.19 | 21.19 | 0.7 | 11.81 |
| 2005 | 695.5 | 374.3 | 321.2 | 2.78 | 2.36 | 0.42 | 11.89 | 20.48 | -0.8 | 8.75 |
| 2006 | 894.9 | 552.2 | 342.7 | 3.03 | 2.52 | 0.51 | 12.05 | 19.29 | 0.9 | 11.94 |
| 2007 | 807.7 | 488.2 | 319.5 | 2.85 | 2.35 | 0.50 | 12.10 | 18.70 | -1.6 | 10.43 |
| 2008 | 799.6 | 483.1 | 316.5 | 2.75 | 2.33 | 0.42 | 12.10 | 18.80 | -1.6 | 9.52 |
| 2009 | 890.4 | 659.0 | 231.4 | 2.18 | 1.70 | 0.48 | 12.30 | 18.68 | 1.6 | 8.62 |
| 2010 | 913.4 | 350.3 | 563.1 | 4.63 | 4.14 | 0.49 | 12.27 | 18.77 | -1.7 | 28.09 |
| 2011 | 949.6 | 480.2 | 469.4 | 3.78 | 3.45 | 0.33 | 12.34 | 18.66 | -1.4 | 16.93 |
| 2012 | 786.3 | 381.1 | 405.2 | 3.53 | 2.98 | 0.55 | 12.14 | 19.55 | -0.8 | 14.26 |
| 2013 | 767.7 | 541.9 | 225.8 | 2.14 | 1.66 | 0.48 | 12.27 | 19.14 | -0.4 | 9.22 |
| 2014 | 815.6 | 547.3 | 268.3 | 2.37 | 1.97 | 0.40 | 12.34 | 19.47 | 0.7 | 10.21 |
| 2015 | 728.0 | 482.3 | 245.7 | 2.34 | 1.81 | 0.53 | 10.64 | 19.17 | 2.6 | 10.08 |
| 2016 | 752.9 | 459.9 | 293.0 | 2.49 | 2.16 | 0.33 | 12.23 | 18.25 | -0.7 | 10.73 |
| 2017 | 719.5 | 438.6 | 280.9 | 2.57 | 2.07 | 0.50 | 12.27 | 17.32 | -0.9 | 11.07 |
| 2018 | 914.9 | 394.9 | 520.0 | 4.28 | 3.83 | 0.45 | 12.12 | 16.70 | 0.9 | 18.44 |
| 2019 | 828.7 | 230.1 | 598.6 | 4.83 | 4.41 | 0.42 | 12.30 | 17.36 | 0.6 | 20.81 |
| 2020 | 815.6 | 392.3 | 423.3 | 3.56 | 3.11 | 0.45 | 12.26 | 16.51 | 0.5 | 15.34 |
| 2021 | 915.4 | 528.9 | 386.5 | 3.24 | 2.84 | 0.40 | 12.35 | 15.82 | --- | 13.96 |
| 2022 | 925.4 | 567.0 | 358.4 | 3.12 | 2.64 | 0.48 | 12.39 | 15.64 | --- | 13.44 |
| 2023 | 825.3 | 488.9 | 336.4 | 2.95 | 2.48 | 0.47 | 12.43 | 15.52 | --- | 12.71 |
| 2024 | 812.3 | 494.3 | 318.0 | 2.74 | 2.34 | 0.40 | 12.48 | 15.48 | --- | 11.81 |
| 2025 | 781.7 | 461.5 | 320.2 | 2.81 | 2.36 | 0.45 | 12.46 | 14.46 | --- | 12.11 |
| 2026 | 828.6 | 491.8 | 336.8 | 2.94 | 2.48 | 0.46 | 12.57 | 14.34 | --- | 12.67 |
| 2027 | 748.0 | 379.9 | 368.1 | 3.12 | 2.71 | 0.41 | 12.58 | 13.57 | --- | 13.44 |
| 2028 | 754.9 | 435.7 | 319.2 | 2.78 | 2.35 | 0.43 | 12.64 | 12.82 | --- | 11.98 |
| 2029 | 712.5 | 375.9 | 336.6 | 2.86 | 2.48 | 0.38 | 12.69 | 12.45 | --- | 12.32 |
| 2030 | 821.5 | 466.6 | 354.9 | 2.95 | 2.61 | 0.34 | 12.71 | 12.08 | --- | 12.71 |
| 2040 | 745.0 | 411.8 | 333.2 | 2.76 | 2.45 | 0.31 | 12.98 | 8.37 | --- | 11.89 |
| 2050 | 750.0 | 421.2 | 328.8 | 2.42 | 2.87 | 0.28 | 13.27 | 4.67 | --- | 10.43 |

Nota: *Elaboración propia, realizado en IBM SPS Statistics v25.*

Se define las siguientes características de la tabla: Pp.: Precipitación, Esc.: Escorrentía, Def.: Déficit, Q.esc: Caudal de escorrentía, Q real: Caudal real o aforado, Q.gla: Caudal de glaciario, T °C: Temperatura media del aire, A.gla: área del glaciario, ENSO: El Niño-Oscilación del Sur, R.H: Rendimiento hídrico de la cuenca. Los valores en color verde son las estimaciones que generó el modelo numérico ARIMA en las diferentes variables a partir de datos registrados en campo.

Tabla 108

Oferta hídrica de la subcuenca Shullcas proyectada hasta el 2050

| RENDIMIENTO HIDRICO FRENTE AL RETROCESO GLACIAR EN EL TIEMPO | | | | | | | | |
|--|-------------------|-------------|--------------|-------------------------|------------------------|-------------|---------------|--------------------|
| Subcuenca del Shullcas | | | | Glaciario Huaytapallana | | | | |
| Año | Qr: Caudal Cuenca | Volumen MMC | R.H Cuenca | Área Glaciario | Qgla: Caudal Glaciario | Volumen MMC | R.H Glaciario | % Aporte Glaciario |
| 1985 | 3.79 | 119.521 | 16.33 | 32.39 | 0.45 | 14.234 | 13.94 | 11.91 |
| 1986 | 4.57 | 144.120 | 19.69 | 30.25 | 0.46 | 14.371 | 15.06 | 9.97 |
| 1987 | 3.05 | 96.185 | 13.14 | 27.65 | 0.51 | 16.013 | 18.36 | 16.65 |
| 1988 | 3.54 | 111.637 | 15.25 | 26.03 | 0.43 | 13.687 | 16.67 | 12.26 |
| 1989 | 3.32 | 104.700 | 14.31 | 28.56 | 0.43 | 13.550 | 15.04 | 12.94 |
| 1990 | 2.15 | 67.802 | 9.26 | 27.86 | 0.40 | 12.592 | 14.33 | 18.57 |
| 1991 | 1.98 | 62.441 | 8.53 | 26.19 | 0.44 | 13.823 | 16.74 | 22.14 |
| 1992 | 1.72 | 54.242 | 7.41 | 24.33 | 0.43 | 13.687 | 17.84 | 25.23 |
| 1993 | 2.59 | 81.678 | 11.16 | 24.23 | 0.54 | 16.971 | 22.21 | 20.78 |
| 1994 | 4.21 | 132.767 | 18.14 | 26.01 | 0.48 | 15.055 | 18.35 | 11.34 |
| 1995 | 3.28 | 103.438 | 14.13 | 23.02 | 0.70 | 22.035 | 30.35 | 21.30 |
| 1996 | 3.33 | 105.015 | 14.35 | 23.66 | 0.58 | 18.203 | 24.40 | 17.33 |
| 1997 | 3.24 | 102.177 | 13.96 | 22.51 | 0.50 | 15.876 | 22.37 | 15.54 |
| 1998 | 3.86 | 121.729 | 16.63 | 20.13 | 0.42 | 13.139 | 20.70 | 10.79 |
| 1999 | 3.8 | 119.837 | 16.37 | 22.58 | 0.56 | 17.656 | 24.79 | 14.73 |
| 2000 | 4.42 | 139.389 | 19.05 | 23.43 | 0.35 | 11.086 | 15.00 | 7.95 |
| 2001 | 5.16 | 162.726 | 22.23 | 21.86 | 0.53 | 16.698 | 24.22 | 10.26 |
| 2002 | 3.41 | 107.538 | 14.69 | 21.71 | 0.48 | 15.055 | 21.99 | 14.00 |
| 2003 | 3.47 | 109.430 | 14.95 | 21.13 | 0.45 | 14.097 | 21.16 | 12.88 |
| 2004 | 2.74 | 86.409 | 11.81 | 20.66 | 0.47 | 14.782 | 22.69 | 17.11 |
| 2005 | 2.03 | 64.018 | 8.75 | 18.94 | 0.42 | 13.139 | 22.00 | 20.52 |
| 2006 | 2.77 | 87.355 | 11.94 | 18.87 | 0.51 | 16.013 | 26.91 | 18.33 |
| 2007 | 2.42 | 76.317 | 10.43 | 19.06 | 0.50 | 15.740 | 26.19 | 20.62 |
| 2008 | 2.21 | 69.695 | 9.52 | 19.92 | 0.42 | 13.276 | 21.13 | 19.05 |
| 2009 | 2.00 | 63.072 | 8.62 | 20.24 | 0.48 | 15.055 | 23.59 | 23.87 |
| 2010 | 6.52 | 205.615 | 28.09 | 19.77 | 0.49 | 15.329 | 24.59 | 7.46 |
| 2011 | 3.93 | 123.936 | 16.93 | 21.10 | 0.33 | 10.265 | 15.43 | 8.28 |
| 2012 | 3.31 | 104.384 | 14.26 | 19.14 | 0.55 | 17.293 | 28.65 | 16.57 |

| | | | | | | | | |
|--------------|-------------|---------------|--------------|--------------|-------------|---------------|--------------|--------------|
| 2013 | 2.14 | 67.487 | 9.22 | 21.27 | 0.48 | 15.083 | 22.49 | 22.35 |
| 2014 | 2.37 | 74.740 | 10.21 | 18.56 | 0.40 | 12.482 | 21.33 | 16.70 |
| 2015 | 2.34 | 73.794 | 10.08 | 19.50 | 0.53 | 16.773 | 27.28 | 22.73 |
| 2016 | 2.49 | 78.525 | 10.73 | 15.62 | 0.33 | 10.532 | 21.38 | 13.41 |
| 2017 | 2.57 | 81.048 | 11.07 | 17.46 | 0.50 | 15.863 | 28.81 | 19.57 |
| 2018 | 4.28 | 134.974 | 18.44 | 17.32 | 0.45 | 14.303 | 26.19 | 10.60 |
| 2019 | 4.83 | 152.319 | 20.81 | 18.23 | 0.42 | 13.392 | 23.30 | 8.79 |
| 2020 | 3.56 | 112.268 | 15.34 | 16.51 | 0.45 | 14.042 | 26.97 | 12.51 |
| 2021 | 3.24 | 102.177 | 13.96 | 15.82 | 0.40 | 12.482 | 25.02 | 12.22 |
| 2022 | 3.12 | 98.392 | 13.44 | 15.64 | 0.48 | 15.213 | 30.84 | 15.46 |
| 2023 | 2.95 | 93.031 | 12.71 | 15.52 | 0.47 | 14.953 | 30.55 | 16.07 |
| 2024 | 2.74 | 86.409 | 11.81 | 15.48 | 0.40 | 12.612 | 25.84 | 14.60 |
| 2025 | 2.81 | 88.616 | 12.11 | 14.46 | 0.45 | 14.303 | 31.36 | 16.14 |
| 2026 | 2.94 | 92.716 | 12.67 | 14.34 | 0.46 | 14.563 | 32.20 | 15.71 |
| 2027 | 3.12 | 98.392 | 13.44 | 13.57 | 0.41 | 12.969 | 30.31 | 13.18 |
| 2028 | 2.78 | 87.670 | 11.98 | 12.82 | 0.43 | 13.599 | 33.64 | 15.51 |
| 2029 | 2.86 | 90.193 | 12.32 | 12.45 | 0.38 | 12.088 | 30.79 | 13.40 |
| 2030 | 2.95 | 93.031 | 12.71 | 12.08 | 0.34 | 10.676 | 28.03 | 11.48 |
| 2040 | 2.76 | 87.039 | 11.89 | 8.37 | 0.25 | 7.884 | 29.85 | 9.06 |
| 2050 | 2.42 | 76.317 | 10.43 | 4.67 | 0.12 | 3.895 | 26.45 | 3.92 |
| Media | 3.17 | 99.923 | 13.65 | 19.81 | 0.45 | 14.092 | 23.69 | 15.06 |

Nota: Elaboración propia.

En la subcuenca el rendimiento hídrico es variable con valor mínimo de 7.41 L/S/ Km2 con una capacidad de volumen de agua expresada en 54.242 MMC y valores máximos 28.09 L/S/ Km2 con capacidad de 205.615 MMC, esta variación se da en periodos con presencia del fenómeno del Niño. Su valor medio es de 12.74 L/S/ Km2 con un volumen medio de 86.409 MMC.

Tabla 109

Estimación y proyección del rendimiento hídrico al 2050

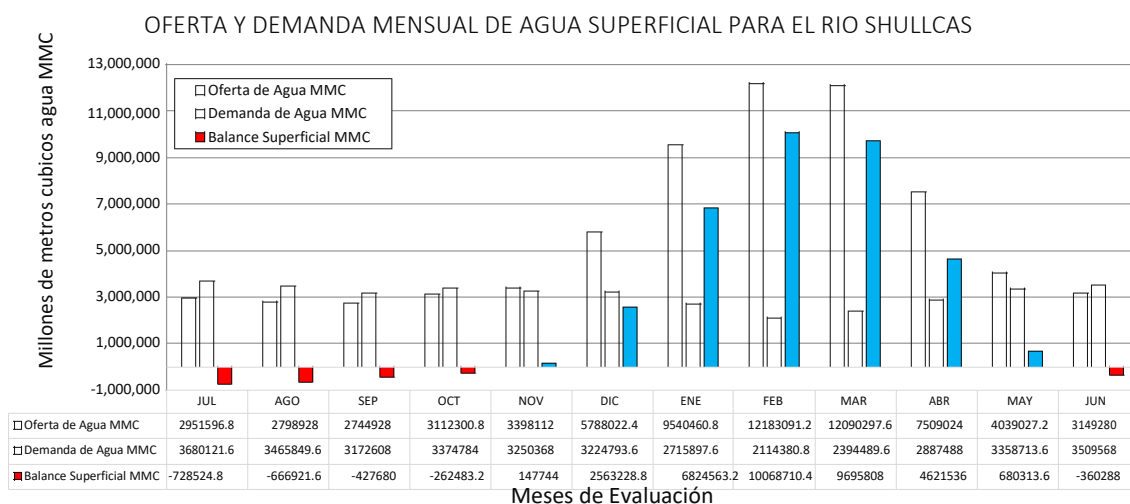
| INTEGRACION DE MODELOS DE RENDIMIENTO HIDRICO Y RETROCESO GLACIAR | | | | | | | | |
|---|----------------|---------|---------|--------|---------|---------------------|----------------------|-----------------|
| PERIODO | OFERTA HIDRICA | | | | | RENDIMIENTO HIDRICO | | SUPERFICIE |
| Años | CUENCA | GLACIAR | TOTAL | CUENCA | GLACIAR | CUENCA | GLACIAR | GLACIAR |
| | MMC/año | MMC/año | MMC/año | % | % | L/S/KM ² | L/S/ KM ² | KM ² |
| 1985-1990 | 93.254 | 14.074 | 107.328 | 86.89 | 13.11 | 14.66 | 15.57 | 28.79 |
| 1991-2000 | 86.518 | 15.753 | 102.271 | 84.60 | 15.40 | 13.97 | 21.28 | 23.61 |
| 2001-2010 | 88.299 | 14.918 | 103.217 | 85.55 | 14.45 | 14.10 | 23.45 | 20.22 |
| 2011-2020 | 86.345 | 14.003 | 100.348 | 86.05 | 13.95 | 13.71 | 24.18 | 18.47 |
| 2021-2030 | 79.717 | 13.346 | 93.063 | 85.66 | 14.34 | 12.72 | 29.86 | 14.22 |
| 2031-2040 | 79.155 | 7.884 | 87.039 | 90.94 | 9.06 | 11.89 | 29.85 | 8.37 |
| 2041-2050 | 72.422 | 3.895 | 76.317 | 94.90 | 5.10 | 10.43 | 26.45 | 4.67 |

Nota: Elaboración propia.

El glaciar Huaytapallana en la década en transición 2011 al 2020 ha aportado un 13.95% del volumen total de agua evacuada como caudal en el río Shullcas representada por 14.003 MMC/año de un total 100.348 MMC/año, tiene importancia en los meses de estiaje.

Gráfica 64

Distribución mensual de oferta y demanda de agua en la Subcuenca Shullcas

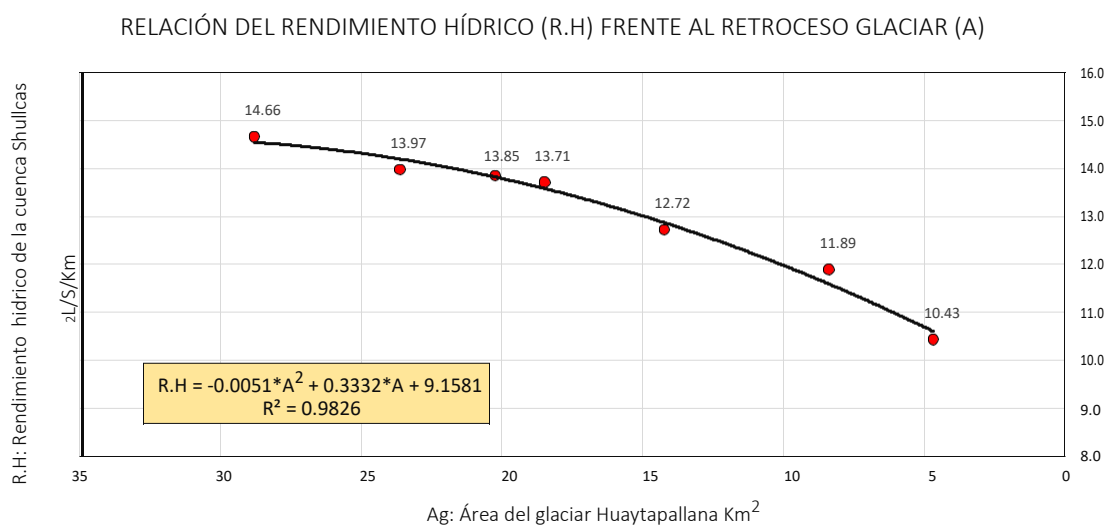


Nota: Evaluación de recursos hídricos superficiales en la cuenca del río Mantaro, 2015.

En los meses de estío el glaciar aporta 1.339 MMC/mes, que representa aproximadamente el 35% del consumo mensual de agua y se presenta un déficit de 1 MMC en la oferta, la cual es subsidiada por agua subterránea (Sedam Huancayo, 2015).

Gráfica 65

Relación del rendimiento hídrico y el retroceso glaciar

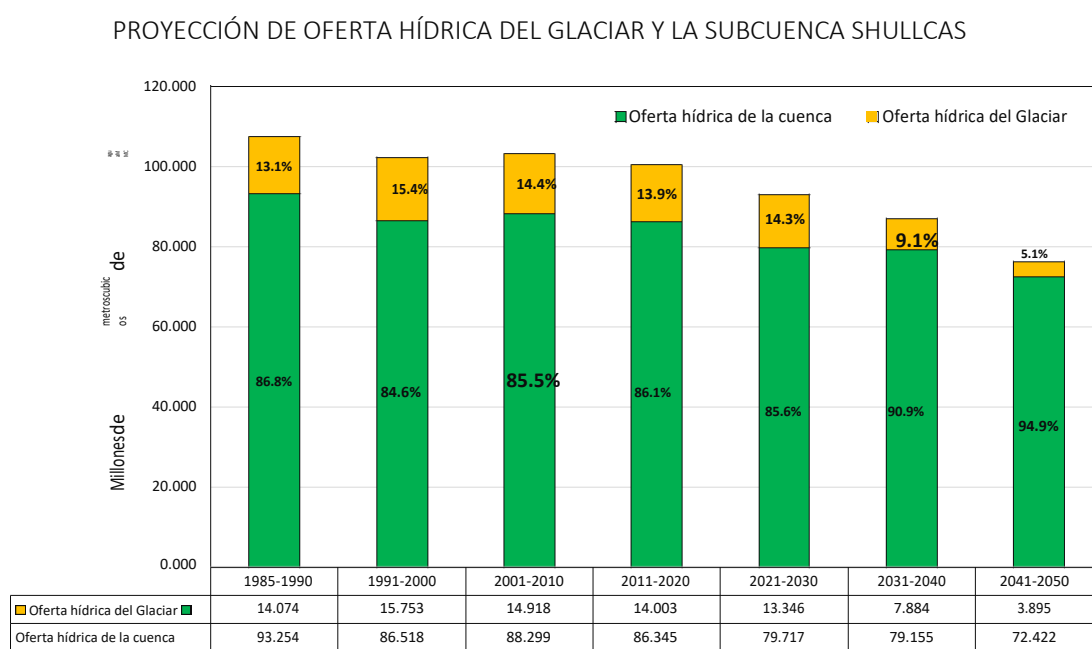


Nota: Elaboración propia.

Se demostró que la cuenca presentara escasez de agua en años futuros ya que el glaciar es aproximadamente la tercera parte de la oferta de agua en los meses de estiaje en la subcuenca del Shullcas. El modelo numérico: $R.H = -0.0051*A^2 + 0.3332*A + 9.1581$, logro asociar las variables hídricas y expresar el rendimiento hídrico de la cuenca en relación al área del glaciar, manteniendo un comportamiento polinomial con una correlación de 0.98.

Gráfica 66

Proyección de oferta hídrica del glaciar y la subcuenca Shullcas



Distribución temporal de la oferta hídrica

Nota: *Elaboración propia.*

En los últimos 35 años de evaluación se ha determinado la tendencia de la oferta de agua del río Shullcas por año ha disminuido en 7.5 MMC promedio, y se prevé hasta el año 2050 con un glaciar agotado la oferta se reducirá hasta en 20.8 MMC. La cantidad de agua que se ofertará en el río Shullcas en el año 2050 sería de 72.422 MMC que solo representa el 77.6% del volumen de agua que brinda la subcuenca a partir del año 1985. Siendo hasta la actualidad el 15% de la oferta de agua de consumo proveniente del nevado. El glaciar Huaytapallana en las siguientes tres décadas tendrá una caída vertiginosa de su aporte de volumen de agua, para las proyecciones orientadas al 2050 solo aportará un 5.1% de la oferta

total de la subcuenca Shullcas expresada como 3.895 MMC/año.

$$. = 9.1581 + 0.3332 * \quad - 0.0051 * ^2$$

Ecuación 46

V. Discusión de resultados

Los resultados obtenidos en la investigación reportan concordancia y explicación del comportamiento de las variables en la subcuenca Shullcas, el cual contrastaremos con estudios similares.

5.1. Comportamiento de la temperatura

La temperatura del aire en el valle del Mantaro con influencia a la subcuenca Shullcas, presenta un comportamiento definido y con poca variación, dando en sus partes altas una temperatura media de -2°C a 4°C , y en la parte baja en el orden de 8 a 12°C , siendo los meses de junio, julio y agosto los meses más fríos con mayor variabilidad y los más cálidos siendo diciembre, enero y febrero.

En los últimos 35 años en el periodo 1985 al 2020 se ha incrementado la temperatura hasta en 1.6°C promedio o $0.53^{\circ}\text{C}/\text{década}$ para la temperatura máxima en cuanto a la temperatura mínima se incrementó en 1.4°C promedio o $0.47^{\circ}\text{C}/\text{década}$, lo cual contrasta la teoría de la publicación: Escenarios climáticos en el Perú para el año 2030, (SENAMHI, 2010), donde menciona un incremento de la temperatura media de $0.25^{\circ}\text{C}/\text{década}$ para la zona central del país con influencia de la cordillera de los Andes.

5.2. Ciclos dinámicos de la precipitación

La precipitación en la subcuenca Shullcas es generada por el tipo orográfico y choque de frentes cálidos y fríos, sin ser determinante. Se ha evaluado las precipitaciones y tienen un régimen establecido siendo los meses húmedos: diciembre, enero y febrero los que registran las mayores precipitaciones sobrepasando normalmente los 120 mm/mes en la estación de verano. En cuanto a los meses los meses de estiaje son: junio, julio y agosto que muchas veces no sobrepasan los 10 mm/mes.

En cuanto a los ciclos anuales de precipitación, el fenómeno del niño tiene una injerencia en el aumento hasta del 20% de la precipitación media. En cuanto a la tendencia de

lluvias se presenta disminución promedio de 35mm/década.

Se ha notado que la precipitación está disminuyendo en la sierra central apareciendo mayor cantidad de años secos, siendo antecidos por episodios de fenómeno del niño de intensidad fuerte en décadas anteriores a 1980 presentaban régimen de 10 años, en la actualidad este ciclo se acorto a 8 años aproximadamente, (PROCLIM, 2005).

5.3. Dinámica de caudales del rio Shullcas

Los caudales de la subcuenca Shullcas presentan relación directa a la cantidad de precipitación, según los registros: 1986 (4.57 m³/s) con precipitación de 945.9 mm, 1994 (4.21 m³/s) con precipitación de 885.6 mm, 2001 (5.16 m³/s) con precipitación de 879.7 mm y el 2010 (6.52 m³/s) con precipitación de 641.4 mm. Los años secos son: 1992 (1.72 m³/s) con precipitación de 518.7 mm, 2005 (2.03 m³/s) con precipitación de 553.0 mm y el 2009 (2.00 m³/s) con precipitación 524.5 mm.

5.4. Retroceso del glaciar

El glaciar presenta un remarcado retroceso de su cobertura con una tasa de retroceso promedio de 0.438 Km²/año, lo cual se notó que existe un incremento de la masa glaciar en los años que existe la presencia del fenómeno del niño, pero un aumento en la tasa media de retroceso glaciar en los años posteriores.

El glaciar por medio de la desglaciación ha generado lagunas, que en la actualidad todas son con régimen controlado mediante estructuras hídricas. El glaciar se ha comportado como un regulador del caudal ecológico en la cuenca, con un aporte medio de 0.50 m³/s en los meses de estío. El glaciar presenta mayores pérdidas en los eventos del fenómeno del Niño porque hay un incremento en la temperatura hasta de 0.5°C de y un ascenso de la línea de nieve perpetua.

5.5. Rendimiento hídrico de la subcuenca Shullcas

El rendimiento hídrico de la subcuenca Shullcas está ligado a las variables de precipitación, retroceso glaciar, oferta hídrica regulada de lagunas. Se ha notado que el glaciar en la actualidad está aportando la quinta parte del agua que discurre por el río Shullcas. En un promedio de 35 años de registro de datos se ha notado que el 87.02% de la cuenca muestra déficit hídrico en la parte media y baja.

Al determinar el balance hídrico superficial de la subcuenca Shullcas, indica que durante el período mayo a setiembre, se presenta deficiencia hídrica, siendo más acentuado el déficit en julio. Los meses restantes del año existe un exceso de oferta hídrica, que alimenta las reservas hídricas de la cuenca. La lámina de escorrentía anual generada en la subcuenca Shullcas es de 379.6 mm, que representa un caudal promedio anual del río Shullcas de 2.8 m³/s, sin considerar aporte glaciar.

VI. Conclusiones

1. La investigación ha demostrado que existe una relación dependiente en el rendimiento hídrico y la pérdida de cobertura glaciar bajo la fórmula polinomial:
 $R.H=9.1581+0.3332*A-0.0051*A^2$, con un coeficiente de correlación de 0.982%. con un descenso del 4% de la oferta hídrica por década a partir de la observación del año 1985.
2. Se determino mediante las imágenes multiespectrales de la misión Landsat, que el nevado está presentando un proceso acelerado de fusión de su cobertura nival, con una tasa de 0.43 Km²/año, presentando un área glaciar el año 1984 de 33.58 Km² y el 2019 con 18.23 Km², que representaría la pérdida del 54.28% una tasa de cambio anual de - 1.73%.
3. El caudal de la subcuenca Shullcas en años secos y meses de estiaje, básicamente está compuesto por un aporte regulado de lagunas altoandinas de 0.578 m³/s promedio y el caudal de fusión del glaciar Huaytapallana es de 0.451 m³/s que representa el 43.4% del cauce del rio principal. El caudal de la cuenca es susceptible al fenómeno del niño donde presenta los caudales máximos 17.83 m³/s, siendo el caudal medio de la cuenca 3.31 m³/s.
4. En las evaluaciones de la temperatura del aire se constató que hay un incremento en el promedio de 0.20°C/década para la temperatura máxima y de 0.25°C/década para la temperatura mínima.
5. Los eventos del fenómeno del niño hasta la década del 90 tenían ciclos parcialmente estables de 10 años, pero en los últimos 30 años se acorto hasta ciclos de 8 años, los eventos catalogados como fuertes o muy fuertes, siendo el factor de mayor injerencia en el comportamiento del rendimiento hídrico, acumulación de la masa glaciar, aumento de la precipitación y aumento de la temperatura máxima del aire en 0.5°C en zonas glaciares de los andes.

6. El balance hídrico de uso y consumo de agua del río Shullcas, se distribuye de la siguiente manera: presenta una oferta media anual de $2.21 \text{ m}^3/\text{s}$ de las cuales $0.78 \text{ m}^3/\text{s}$ están dispuestos para consumo humano como agua potable, $0.39 \text{ m}^3/\text{s}$ están destinadas para riego de cultivos y consumo agropecuario. En los meses de estiaje presenta un déficit de $0.9 \text{ m}^3/\text{s}$ que son aliviados con descargas controladas de las lagunas en cabecera de cuenca.

VII. Recomendaciones

1. Realizar un programa de monitoreo participativo de variables hidrológicas por parte de los principales actores del uso de agua: empresas administradoras de agua potable, junta de regantes agropecuarios y las autoridades públicas con el fin de contrastarlo a un objetivo integral para tomar decisiones con valores más continuos y trazables en el tiempo, generando una base de datos sustentada en el tiempo con mayor trazabilidad.
2. Generar un programa para la evaluación más sofisticada de las reservas de agua en estado sólido en el glaciar Huaytapallana, en preferencia utilizar metodologías de balance de materia, estudio por ondas de radar, topografía con sensores láser. Estas evaluaciones nos permitirán conocer el comportamiento mensual y multianual de la dinámica del glaciar por consiguiente obtener mejores estimaciones y predicciones de la reserva hídrica.
3. Reforzar los proyectos actuales de siembra de agua que consiste en la reforestación de la cuenca alta, excavación de zanjas de infiltración, aumento de presas de embalse lacustre y gestionar la participación de cuotas de agua a los actores interesados de forma sostenible en el tiempo.
4. Realizar mayores estudios para ubicar y determinar nuevas fuentes de agua para la subcuenca Shullcas y ejecutar proyectos de inversión para afianzar la disponibilidad hídrica en la ciudad de Huancayo para las fechas posteriores al 2030, como la construcción de represas, aumento de superficie de espejos de agua, transvase de cursos de agua, derivación mediante canales de riego eficientes con pocas pérdidas por infiltración y evaporación.
5. Realizar proyectos de concientización en el uso de agua en la población en etapa escolar y superior, con fines de difusión de hábitos y buenas prácticas relacionadas al

uso de agua, afianzando la presencia y finalidad de la reciente área de conservación regional Huaytapallana.

VIII. Referencias

- Arroyo, A., Gurmendi, P. (2012). Cambios en el régimen hídrico de la laguna Lasuntay y Chuspicocha por variaciones en el Nevado Huaytapallana. *Apuntes de ciencia & sociedad*. Vol. 1 Num.2: 2011, Julio-diciembre. 2011, 1-10.
<http://journals.continental.edu.pe/index.php/apuntes/article/view/35/34>
- Chereque, W. (2003). *Hidrología para estudiantes de ingeniería civil*. Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.
<https://repositorio.pucp.edu.pe/index/bitstream/handle/123456789/28689/hidrologia.pdf>
- Chuvieco, E. (2007). *Teledetección ambiental: La observación de la Tierra desde el espacio*. Ediciones Ariel Ciencia, 3ra. edición, 586 pp. Barcelona – España.
- Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM (2017). *Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias* [Decreto Supremo] Ministerio del Ambiente [MINAM]. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>
- Decreto Supremo N° 018-2011-MINAM (2011). *Decreto Supremo que establece el Área de Conservación Regional Huaytapallana* [Decreto Supremo] Ministerio del Ambiente [MINAM].
https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/398464/Decreto_Supremo_N_018-2011-MINAM20191021-22801-1lj3t7w.pdf
- Echegaray, D. Z (2015). Efecto de la cobertura vegetal nativa sobre la desglaciación del nevado Huaytapallana en diferentes altitudes, [Tesis de grado, Universidad Nacional del Centro].
<http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/3501/Echegaray%20Cristobal.pdf>

Francou, B., & Pouyaud, B. (2004). *Método de observación de glaciares en los andes tropicales mediciones de terreno y procesamiento de datos*. (1 ed.). Francia.

https://www.researchgate.net/publication/276410434_Metodos_de_observacion_de_glaciares_en_los_Andes_tropicales_-_Mediciones_de_terreno_y_procesamientos_de_datos

Gómez, W., & Zamora, N. (2012). *Influencia glaciar en el rendimiento hídrico de la subcuenca Honda-río Santa*. Centro de Investigación y Gestión del Agua.

GRID-Arendal. (2020, 12 de abril). *El Niño Southern Oscillation (ENSO)*

phenomenon. <http://www.grida.no/publications/vg/africa/page/3105.aspx>

Instituto Geofísico del Perú [IGP]. (2005). *Vulnerabilidad actual y futura ante el cambio climático y medidas de adaptación en la cuenca del río Mantaro*. Consejo Nacional del Ambiente [CONAM]. ISBN: 9972-824-15-2.

<https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/742>

Instituto Geofísico del Perú [IGP]. (2010). *Atlas climático de precipitación y temperatura del aire de la cuenca del río Mantaro*, Consejo Nacional del Ambiente [CONAM].

ISBN: 9972-824-13-6. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/atlas-climatico-precipitacion-temperatura-aire-cuenca-rio-mantaro>

Instituto Geofísico del Perú [IGP]. (2012). *Manejo de desastres ante eventos meteorológicos extremos (sequías, heladas y lluvias intensas) como medida de adaptación ante el cambio climático en el valle del Mantaro*. <http://hdl.handle.net/20.500.12816/2735>

Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI]. (2018, 1 de agosto). Perú: Perfil Sociodemográfico Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas.

https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1539/libro.pdf

- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. (2013). *Cambio Climático 2013: Informe de síntesis*. Ginebra: Grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático. https://archive.ipcc.ch/pdf/assessmentreport/ar5/wg1/WG1AR5_Summary_Volume_FINAL_SPANISH.pdf
- Ley N° 29338 (2009). *Ley de recursos hídricos* [Ley] Presidencia de Consejo de Ministros [PCM]. <https://leyes.congreso.gob.pe/Documentos/Leyes/29338.pdf>
- Loroña, F. E (2011). *Evolución de la cobertura glaciar en la subcuenca de Quillcay y la influencia en su rendimiento hídrico*, [Tesis de grado, Universidad Nacional Federico Villarreal]. <http://repositorio.unfv.edu.pe/handle/UNFV/990>
- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2012, 1 de abril). Eventos meteorológicos extremos (sequías, heladas y lluvias intensas) en el valle del Mantaro. <https://repositorio.igp.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12816/740/eventos%20meteorologicos%20extremos-.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- National Weather Service [NOAA]. (2020). National Centers for Environmental Prediction. 2020. <https://www.weather.gov/ncep/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO]. (2012). *Glosario Hidrológico Internacional*. Ginebra, Suiza: OMM. <http://unescoguatemala.org/wp-content/uploads/2014/11/glosario.pdf>
- Paucar, J.A (2018). *Estudio del retroceso glaciar en el santuario nacional de ampay y determinación de su influencia en la agricultura de la comunidad de Huayllabamba, distrito de Abancay, año 2016*, [Tesis de grado, Universidad Tecnológica de los Andes]. <http://repositorio.utea.edu.pe/handle/utea/113>
- Portocarrero, C. (2009). *Desglaciación de la Cordillera Blanca- Perú y su relación con el efecto invernadero*. Revista *DELOS: Desarrollo Local Sostenible*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3037540>

- Proyecto Regional Andino de Adaptación [PRAA]. (2012). *Cambio Climático en la Cuenca del Río Mantaro. Proyecciones para el 2030*.
https://issuu.com/praa/docs/senamhi_2030_mantaro
- Ramos, R. B (2018). *Evolución de la cobertura glaciar del nevado Coropuna y su relación con el entorno climático*, [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina]. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3321>
- Rojas, D. D (2018). *Relación de las variables meteorológicas y la fusión glaciar de la zona de ablación y acumulación del glaciar Artesonraju y la estimación del volumen de agua aportado a la microcuenca, para los años hidrológicos 2004 al 2016*, [Tesis de grado, Universidad Nacional Santiago Antúnez De Mayolo].
<http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/2224>
- Secretaria General de la Comunidad Andina., Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Oficina Regional para América Latina y el Caribe y la Agencia Española de Cooperación Internacional (2007). *¿El fin de las cumbres nevadas? Glaciares y Cambio Climático en la Comunidad Andina*. [Artículo PDF].
Comunidad Andina.
http://www.comunidadandina.org/StaticFiles/OtrosTemas/MedioAmbiente/libro_fin_cumbres_nevadas.pdf
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología [SENAMHI]. (2014). *El Fenómeno El Niño en el Perú*. Lima: Impresiones y Servicios Generales TAWA.
http://issuu.com/senamhi_peru/docs/el_nino
- Sociedad Alemana de Cooperación Técnica [GTZ] (1979). *Evaluación del potencial hidroeléctrico Nacional, Volumen V, Información Hidrométrica y Pluviométrica*.
<http://www.minem.gob.pe/descripcion.php?idSector=6&idTitular=1801&idMe>

Tarazona, Y. (2012). Aplicación de la Teledetección para el análisis multitemporal del retroceso glaciar en el Nevado Pastoruri. *Teledetección Aplicada*. 1, 3-13.

<https://teledeteccionsigcartografia.files.wordpress.com/2012/11/retroceso-del-nevado-pastoruri1.pdf>

Vásquez-Garay, P. (2018). *Huella hídrica y sostenibilidad en la subcuenca del río Shullcas, provincia de Huancayo, Región Junín*, [Tesis de grado, Universidad Nacional del Centro del Perú].

<http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/4856/Vasquez%20Garay.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Vignon, F. (2002). *Glaciares y recursos hídricos en el valle alto del río Santa*. Paris:

Université Paris VII. <https://app.ingemmet.gob.pe/biblioteca/pdf/TE0307.pdf>

Villón, M. (2002). *Hidrología*. MaxSoft.

Western Regional Climate Center [WRCC]. (2019). Classification of El Niño and La

Niña Winters. <http://www.wrcc.dri.edu/enso/ensodef.html>

IX. Anexos

Anexo 1: Registro de datos precipitación

Tabla 110:

Datos pluviométricos mensual de la estación Huayao.

| AÑO | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| 1985 | 77.0 | 161.5 | 80.5 | 55.6 | 19.1 | 5.6 | 9.6 | 10.1 | 89.7 | 76.1 | 89.1 | 136.9 | 810.8 |
| 1986 | 157.0 | 223.8 | 157.6 | 126.7 | 11.3 | 0.0 | 6.4 | 20.7 | 40.9 | 32.8 | 35.6 | 77.8 | 890.6 |
| 1987 | 156.0 | 146.7 | 68.1 | 72.6 | 14.2 | 15.3 | 11.7 | 6.0 | 39.9 | 33.8 | 41.3 | 118.1 | 723.7 |
| 1988 | 209.4 | 128.8 | 87.7 | 53.6 | 25.5 | 1.0 | 0.0 | 8.6 | 27.0 | 68.7 | 29.8 | 161.5 | 801.6 |
| 1989 | 96.4 | 188.8 | 145.0 | 88.8 | 19.0 | 15.0 | 0.3 | 17.2 | 13.5 | 122.7 | 45.1 | 40.6 | 792.4 |
| 1990 | 119.0 | 135.4 | 100.2 | 41.0 | 19.9 | 62.9 | 9.9 | 21.5 | 60.9 | 74.8 | 132.9 | 95.2 | 873.6 |
| 1991 | 70.9 | 54.2 | 162.9 | 81.8 | 34.2 | 16.6 | 1.3 | 0.0 | 57.2 | 57.2 | 65.1 | 38.5 | 639.9 |
| 1992 | 77.4 | 102.2 | 86.0 | 23.1 | 12.2 | 11.7 | 3.9 | 14.6 | 0.9 | 52.3 | 40.3 | 63.8 | 488.4 |
| 1993 | 139.7 | 144.5 | 107.1 | 102.8 | 18.5 | 1.0 | 3.6 | 24.9 | 31.6 | 65.7 | 109.0 | 133.5 | 881.9 |
| 1994 | 121.0 | 197.9 | 128.0 | 90.7 | 28.2 | 1.5 | 1.3 | 16.9 | 16.5 | 58.6 | 61.7 | 111.6 | 833.9 |
| 1995 | 68.9 | 131.3 | 125.3 | 19.6 | 26.8 | 2.6 | 9.2 | 16.5 | 36.5 | 76.0 | 56.0 | 98.3 | 667.0 |
| 1996 | 121.3 | 113.8 | 105.2 | 37.7 | 4.6 | 1.3 | 0.0 | 16.3 | 22.7 | 58.7 | 32.2 | 86.0 | 599.8 |
| 1997 | 103.9 | 137.9 | 70.6 | 37.5 | 2.9 | 0.3 | 1.3 | 18.2 | 46.6 | 34.4 | 74.9 | 125.5 | 654.0 |
| 1998 | 153.4 | 125.9 | 61.3 | 81.6 | 1.8 | 3.9 | 0.0 | 35.0 | 33.9 | 93.5 | 56.6 | 79.3 | 726.2 |
| 1999 | 113.3 | 148.7 | 75.5 | 59.7 | 6.6 | 22.6 | 8.1 | 7.9 | 62.8 | 51.2 | 82.6 | 76.8 | 715.8 |
| 2000 | 106.9 | 141.7 | 111.6 | 16.1 | 16.3 | 3.8 | 10.0 | 36.4 | 17.6 | 68.8 | 31.7 | 114.8 | 675.7 |
| 2001 | 166.0 | 92.3 | 161.0 | 26.1 | 15.8 | 1.5 | 18.6 | 5.9 | 62.7 | 104.9 | 57.7 | 115.8 | 828.3 |
| 2002 | 95.6 | 149.2 | 115.8 | 28.4 | 12.3 | 4.4 | 31.0 | 11.7 | 66.2 | 71.7 | 93.9 | 133.3 | 813.5 |
| 2003 | 127.7 | 111.6 | 133.6 | 99.6 | 26.0 | 2.6 | 1.5 | 22.3 | 31.2 | 37.7 | 65.7 | 116.3 | 775.8 |
| 2004 | 52.1 | 159.6 | 51.1 | 35.9 | 16.6 | 9.0 | 15.0 | 7.3 | 44.6 | 49.5 | 95.9 | 81.4 | 618.0 |
| 2005 | 52.1 | 73.4 | 74.3 | 25.6 | 14.0 | 0.6 | 6.3 | 5.8 | 19.3 | 116.7 | 61.1 | 71.5 | 520.7 |
| 2006 | 158.3 | 73.4 | 80.9 | 19.4 | 2.3 | 5.0 | 31.9 | 7.9 | 52.3 | 50.7 | 51.2 | 86.6 | 619.9 |
| 2007 | 97.4 | 36.3 | 145.1 | 55.6 | 13.0 | 0.0 | 2.6 | 2.2 | 15.9 | 64.4 | 50.6 | 80.3 | 563.4 |
| 2008 | 105.1 | 62.3 | 50.7 | 24.5 | 3.8 | 11.8 | 6.4 | 18.9 | 40.1 | 70.1 | 32.3 | 67.9 | 493.9 |
| 2009 | 92.5 | 89.7 | 131.0 | 62.9 | 16.4 | 9.7 | 7.4 | 32.1 | 26.4 | 40.1 | 114.6 | 111.3 | 734.1 |
| 2010 | 173.6 | 86.3 | 108.3 | 41.3 | 1.1 | 6.4 | 4.8 | 1.0 | 6.7 | 48.8 | 25.4 | 100.2 | 603.9 |
| 2011 | 157.3 | 231.8 | 111.8 | 72.9 | 19.3 | 0.0 | 3.6 | 1.9 | 68.6 | 48.7 | 71.3 | 124.9 | 912.1 |
| 2012 | 77.6 | 145.3 | 76.8 | 87.7 | 19.3 | 14.3 | 0.4 | 0.0 | 32.0 | 31.8 | 72.7 | 132.9 | 690.8 |
| 2013 | 149.4 | 145.1 | 58.7 | 45.5 | 8.5 | 9.0 | 1.8 | 30.2 | 54.4 | 33.8 | 41.9 | 79.4 | 657.7 |
| 2014 | 163.5 | 78.9 | 131.8 | 42.2 | 72.4 | 11.5 | 12.6 | 1.4 | 60.8 | 35.8 | 66.7 | 115.7 | 793.3 |
| 2015 | 120.4 | 99.1 | 94.9 | 40.3 | 17.7 | 5.0 | 9.3 | 11.3 | 39.3 | 50.0 | 62.7 | 100.8 | 650.9 |
| Prom. | 118.7 | 126.4 | 103.2 | 54.7 | 16.8 | 8.3 | 7.4 | 13.9 | 39.3 | 60.6 | 62.8 | 99.2 | 711.3 |
| Máx. | 209.4 | 231.8 | 162.9 | 126.7 | 72.4 | 62.9 | 31.9 | 36.4 | 89.7 | 122.7 | 132.9 | 161.5 | |
| Mín. | 52.1 | 36.3 | 50.7 | 16.1 | 1.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.9 | 31.8 | 25.4 | 38.5 | |

Nota: *Extraído de Senamhi, 2018*

Tabla 111*Datos pluviométricos mensual de la estación Santa Ana*

| AÑO | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| 1992 | 15.0 | 88.9 | 50.2 | 16.8 | 3.4 | 11.5 | 2.9 | 17.6 | 15.7 | 33.4 | 67.0 | 36.6 | 359.0 |
| 1993 | 112.5 | 106.4 | 109.1 | 88.5 | 23.4 | 1.8 | 3.4 | 13 | 14.5 | 19.6 | 63.2 | 66.2 | 621.6 |
| 1994 | 93.0 | 76.8 | 62.8 | 36.8 | 16.6 | 6.0 | 0 | 5.7 | 5.3 | 44.8 | 63.9 | 94.8 | 506.5 |
| 1995 | 77.6 | 78.7 | 108.2 | 19.6 | 7.4 | 1.5 | 6.4 | 8.7 | 17.8 | 86.7 | 77.1 | 120.1 | 609.8 |
| 1996 | 113.7 | 90.5 | 107.2 | 71.4 | 3.8 | 1.0 | 0 | 3.3 | 39.1 | 40.7 | 50.3 | 96.4 | 617.4 |
| 1997 | 120.9 | 146.3 | 60.9 | 30.3 | 3.3 | 2.1 | 2.4 | 20.2 | 32.4 | 44.2 | 74.2 | 155.8 | 693.0 |
| 1998 | 182.3 | 181.9 | 56.3 | 71.1 | 7.6 | 7.0 | 0 | 7.6 | 27.7 | 94.4 | 89.9 | 79.1 | 804.9 |
| 1999 | 83.6 | 159.8 | 81.5 | 31.6 | 6.2 | 20.4 | 11.1 | 3.6 | 60.5 | 67.4 | 102.0 | 83.4 | 711.1 |
| 2000 | 103.6 | 138.2 | 89.3 | 39.6 | 15.0 | 1.8 | 7.3 | 21.4 | 5.5 | 60.1 | 43.0 | 81.5 | 606.3 |
| 2001 | 108.9 | 117.5 | 178.6 | 31.5 | 9.9 | 0.8 | 8.4 | 4.1 | 40.2 | 78.3 | 71.3 | 120.7 | 770.2 |
| 2002 | 67.2 | 112.3 | 127.4 | 36.5 | 12.1 | 1.5 | 24.3 | 21.9 | 62.2 | 84.8 | 149.1 | 124.2 | 823.5 |
| 2003 | 95.5 | 126.6 | 166.9 | 64.3 | 30.9 | 0 | 0.5 | 21.0 | 23.3 | 25.7 | 83.8 | 166.4 | 804.9 |
| 2004 | 71.3 | 136.4 | 78.3 | 29.5 | 13.3 | 11.0 | 9.9 | 11.7 | 35.4 | 37.7 | 95.9 | 126.4 | 656.8 |
| 2005 | 139.0 | 134.8 | 138.1 | 11.6 | 19.6 | 1.5 | 0 | 10.9 | 33.3 | 102.8 | 71.1 | 149.0 | 812.3 |
| 2006 | 276.3 | 136.5 | 143.2 | 51.6 | 15.1 | 13.5 | 0 | 39.6 | 42.8 | 88.8 | 90.3 | 155.9 | 1054.1 |
| 2007 | 147.6 | 140.0 | 145.0 | 71.6 | 24.6 | 1.5 | 35.4 | 22.3 | 43.4 | 88.5 | 83.7 | 153.0 | 957.1 |
| 2008 | 268.7 | 154.5 | 115.8 | 54.3 | 20.2 | 10.1 | 0 | 10.4 | 41.6 | 98.3 | 72.6 | 147.4 | 994.4 |
| 2009 | 149.6 | 217.8 | 108.3 | 54.9 | 24.6 | 25.7 | 12.0 | 54.5 | 48.5 | 77.1 | 86.0 | 167.1 | 1025.8 |
| 2010 | 284.4 | 256.6 | 108.0 | 47.8 | 14.7 | 6.6 | 12.1 | 12.0 | 34.3 | 71.7 | 59.9 | 114.5 | 1023.0 |
| 2011 | 166.8 | 190.9 | 108.5 | 78.7 | 18.8 | 2.1 | 11.4 | 12.6 | 53.8 | 71.7 | 69.3 | 121.4 | 906.4 |
| 2012 | 125.7 | 119.1 | 108. | 93.1 | 18.8 | 12.1 | 9.7 | 11.4 | 42.2 | 68.7 | 69.6 | 123.6 | 803.4 |
| 2013 | 162.7 | 119.0 | 108.0 | 51.9 | 16.4 | 8.4 | 10.5 | 31.0 | 49.3 | 69.0 | 63.2 | 108.7 | 798.6 |
| 2014 | 169.9 | 64.1 | 108.0 | 48.6 | 30.7 | 10.1 | 16.2 | 12.3 | 51.3 | 69.4 | 68.3 | 118.8 | 768.3 |
| 2015 | 147.8 | 80.8 | 107.9 | 46.8 | 18.4 | 5.6 | 14.4 | 18.7 | 44.5 | 72.0 | 67.5 | 114.6 | 739.7 |
| Prom. | 136.8 | 132.3 | 107.4 | 49.1 | 15.6 | 6.8 | 8.3 | 16.5 | 36.0 | 66.5 | 76.4 | 117.7 | 769.5 |
| Máx. | 284.5 | 256.6 | 178.6 | 93.2 | 30.9 | 25.7 | 35.4 | 54.5 | 62.2 | 102.8 | 149.1 | 167.1 | |
| Mín. | 15.0 | 64.1 | 50.2 | 11.7 | 3.3 | 0.0 | 0.0 | 3.3 | 5.3 | 19.6 | 43.0 | 36.6 | |

Nota: *Extraído de Senamhi, 2018*

Tabla 112*Datos pluviométricos mensual de la estación Shullcas*

| AÑO | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| 1997 | 139.6 | 180.2 | 122.0 | 45.0 | 12.6 | 1.5 | 1.0 | 20.3 | 43.0 | 79.9 | 116.6 | 204.1 | 965.8 |
| 1998 | 203.3 | 231.0 | 73.5 | 85.7 | 7.8 | 6.1 | 0 | 10.3 | 14.4 | 116.8 | 107.2 | 129.1 | 985.2 |
| 1999 | 125.6 | 212.9 | 144.8 | 31.1 | 21 | 23.3 | 13.8 | 0.3 | 59.3 | 80.9 | 84.5 | 106.9 | 904.4 |
| 2000 | 197.7 | 177.8 | 154.5 | 62.8 | 10.3 | 4.1 | 3.9 | 39.1 | 28.8 | 70.0 | 18.0 | 102.9 | 869.9 |
| 2001 | 249.4 | 107.8 | 127.7 | 36.5 | 33.3 | 2.9 | 11.8 | 4.3 | 35.3 | 51.5 | 67.3 | 107.7 | 835.5 |
| 2002 | 114.9 | 160.2 | 209.6 | 35.9 | 16.4 | 6.1 | 33.6 | 14.1 | 55.9 | 76.4 | 81.0 | 155.8 | 959.9 |
| 2003 | 175.5 | 181.9 | 169.1 | 77.1 | 27.5 | 0.9 | 1.4 | 53.6 | 53.3 | 45.0 | 73.5 | 165.5 | 1024.3 |
| 2004 | 51.6 | 165.4 | 102.9 | 26.1 | 22.9 | 14.1 | 17.9 | 20.0 | 50.9 | 93.0 | 104.1 | 168.3 | 837.2 |
| 2005 | 85.8 | 108.9 | 105.2 | 11.4 | 14 | 0 | 0 | 8.3 | 17.4 | 127.8 | 65.3 | 124.7 | 668.8 |
| 2006 | 224.7 | 110.1 | 116.4 | 43.1 | 2.8 | 11.4 | 0 | 25.7 | 36.4 | 92.4 | 108.5 | 132.7 | 904.2 |
| 2007 | 94.5 | 112.7 | 120.3 | 58.9 | 26.4 | 0 | 25.6 | 15.2 | 37.5 | 91.7 | 93.6 | 129.4 | 805.8 |
| 2008 | 217.0 | 123.3 | 56.6 | 45.2 | 15.5 | 8.2 | 0 | 8.0 | 33.9 | 116.4 | 68.7 | 122.9 | 815.7 |
| 2009 | 96.5 | 169.2 | 40.2 | 45.7 | 26.3 | 23 | 9.1 | 34.7 | 47.8 | 62.7 | 98.8 | 145.6 | 799.6 |
| 2010 | 328.0 | 278.7 | 54.0 | 54.9 | 0.9 | 5.1 | 11.2 | 10.9 | 25.5 | 67.8 | 54.7 | 118.2 | 1009.9 |
| 2011 | 159.5 | 210.5 | 55.6 | 89.6 | 15.2 | 0 | 10.6 | 11.4 | 80.8 | 67.7 | 84.8 | 129.5 | 915.2 |
| 2012 | 100.7 | 136.1 | 56.4 | 105.9 | 15.2 | 12.5 | 8.9 | 10.4 | 48.1 | 56.8 | 85.7 | 133.2 | 769.9 |
| 2013 | 153.6 | 135.9 | 54.2 | 59.5 | 6.7 | 7.5 | 9.6 | 27.2 | 68.1 | 58.1 | 65.5 | 108.7 | 754.6 |
| 2014 | 164.0 | 79.0 | 54.0 | 55.9 | 56.8 | 9.9 | 15.3 | 11.2 | 73.8 | 59.4 | 81.7 | 125.3 | 786.3 |
| 2015 | 132.3 | 96.3 | 53.9 | 53.9 | 13.9 | 3.8 | 13.6 | 16.7 | 54.6 | 68.6 | 79.1 | 118.5 | 705.2 |
| Prom. | 158.6 | 156.7 | 98.5 | 53.9 | 18.2 | 7.4 | 9.9 | 18.0 | 45.5 | 78.0 | 81.0 | 133.1 | 858.8 |
| Máx. | 328.0 | 278.7 | 209.6 | 105.9 | 56.8 | 23.3 | 33.6 | 53.6 | 80.8 | 127.8 | 116.6 | 204.1 | |
| Min. | 51.6 | 79.0 | 40.2 | 11.4 | 0.9 | 0.0 | 0.0 | 0.3 | 14.4 | 45.0 | 18.0 | 102.9 | |

Nota: *Extraído de Senamhi, 2018*

Anexo 2: Registro de datos de caudales

Tabla 113

Registro de Información hidrométrica del río Shullcas en m³/s

| AÑO | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUAL | Q.min | Q.max |
|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|
| 1985 | 6.33 | 9.03 | 9.13 | 4.38 | 2.50 | 1.66 | 1.25 | 1.04 | 1.29 | 1.23 | 2.51 | 5.10 | 3.788 | 1.04 | 9.13 |
| 1986 | 7.70 | 10.59 | 10.52 | 9.04 | 4.59 | 2.46 | 1.44 | 1.27 | 1.14 | 1.05 | 1.12 | 3.96 | 4.573 | 1.05 | 10.59 |
| 1987 | 8.35 | 5.65 | 4.38 | 3.02 | 1.85 | 1.27 | 1.26 | 1.20 | 1.17 | 1.33 | 2.87 | 4.21 | 3.047 | 1.17 | 8.35 |
| 1988 | 10.60 | 7.70 | 5.21 | 6.80 | 2.41 | 1.54 | 1.57 | 1.45 | 1.36 | 1.14 | 1.00 | 1.70 | 3.540 | 1.00 | 10.60 |
| 1989 | 5.01 | 14.02 | 5.29 | 3.87 | 2.46 | 1.67 | 1.10 | 1.04 | 0.99 | 1.27 | 1.58 | 1.56 | 3.322 | 0.99 | 14.02 |
| 1990 | 4.61 | 2.09 | 1.89 | 1.89 | 1.30 | 1.29 | 1.16 | 1.03 | 0.92 | 1.86 | 4.67 | 3.04 | 2.146 | 0.92 | 4.67 |
| 1991 | 4.12 | 2.05 | 4.29 | 2.20 | 1.57 | 1.09 | 1.01 | 1.12 | 1.23 | 1.25 | 1.92 | 1.86 | 1.976 | 1.01 | 4.29 |
| 1992 | 1.92 | 3.12 | 2.56 | 4.06 | 1.39 | 1.19 | 1.14 | 1.12 | 1.08 | 1.05 | 1.00 | 1.06 | 1.724 | 1.00 | 4.06 |
| 1993 | 3.17 | 3.18 | 3.56 | 3.25 | 2.68 | 1.63 | 1.34 | 1.24 | 1.24 | 1.33 | 2.31 | 6.15 | 2.590 | 1.24 | 6.15 |
| 1994 | 6.46 | 12.49 | 10.25 | 8.07 | 3.34 | 1.60 | 1.40 | 1.24 | 1.10 | 1.30 | 1.23 | 2.04 | 4.210 | 1.10 | 12.49 |
| 1995 | 3.36 | 6.97 | 7.85 | 3.68 | 2.36 | 2.43 | 2.35 | 2.00 | 2.18 | 2.26 | 1.61 | 2.33 | 3.282 | 1.61 | 7.85 |
| 1996 | 4.04 | 11.42 | 6.29 | 4.67 | 2.12 | 1.71 | 1.52 | 1.43 | 1.33 | 1.40 | 1.49 | 2.49 | 3.326 | 1.33 | 11.42 |
| 1997 | 5.75 | 6.62 | 6.80 | 2.63 | 1.42 | 1.16 | 1.59 | 1.52 | 1.42 | 1.30 | 2.26 | 6.39 | 3.238 | 1.16 | 6.80 |
| 1998 | 7.34 | 12.34 | 7.77 | 4.43 | 1.69 | 1.11 | 1.06 | 0.96 | 1.21 | 1.39 | 2.97 | 4.04 | 3.859 | 0.96 | 12.34 |
| 1999 | 5.12 | 11.45 | 9.56 | 4.41 | 1.90 | 1.96 | 1.84 | 1.58 | 1.54 | 2.12 | 1.29 | 2.77 | 3.795 | 1.29 | 11.45 |
| 2000 | 6.78 | 17.83 | 13.43 | 5.25 | 1.50 | 1.20 | 0.89 | 0.81 | 1.10 | 1.26 | 1.19 | 1.85 | 4.424 | 0.81 | 17.83 |
| 2001 | 13.59 | 16.97 | 11.12 | 5.97 | 1.80 | 1.35 | 1.33 | 1.22 | 1.28 | 1.42 | 1.81 | 4.07 | 5.161 | 1.22 | 16.97 |
| 2002 | 1.75 | 8.30 | 9.87 | 6.11 | 1.90 | 1.36 | 1.12 | 1.10 | 1.33 | 1.63 | 2.34 | 4.14 | 3.413 | 1.10 | 9.87 |
| 2003 | 3.97 | 8.55 | 10.19 | 6.74 | 2.70 | 1.42 | 1.28 | 1.15 | 1.03 | 1.04 | 1.20 | 2.42 | 3.474 | 1.03 | 10.19 |
| 2004 | 3.14 | 6.92 | 4.53 | 2.54 | 1.97 | 1.76 | 1.40 | 1.08 | 1.23 | 1.23 | 1.89 | 5.14 | 2.736 | 1.08 | 6.92 |
| 2005 | 2.96 | 3.19 | 4.77 | 2.00 | 1.43 | 1.13 | 0.96 | 1.05 | 0.97 | 1.66 | 1.55 | 2.73 | 2.033 | 0.96 | 4.77 |
| 2006 | 6.39 | 6.77 | 3.46 | 3.60 | 1.65 | 1.50 | 1.25 | 1.20 | 1.17 | 1.26 | 1.76 | 3.21 | 2.768 | 1.17 | 6.77 |
| 2007 | 5.29 | 3.67 | 5.08 | 2.99 | 1.71 | 1.24 | 1.34 | 1.20 | 1.15 | 1.19 | 1.75 | 2.41 | 2.418 | 1.15 | 5.29 |
| 2008 | 6.93 | 5.03 | 4.06 | 1.67 | 1.07 | 0.97 | 1.04 | 1.04 | 1.03 | 1.13 | 1.17 | 1.36 | 2.208 | 0.97 | 6.93 |
| 2009 | 1.43 | 4.90 | 3.69 | 2.43 | 1.26 | 1.16 | 1.12 | 1.10 | 1.15 | 1.21 | 1.93 | 2.64 | 2.002 | 1.10 | 4.90 |
| 2010 | 16.72 | 16.56 | 15.35 | 10.95 | 3.06 | 1.35 | 1.12 | 1.15 | 1.13 | 1.16 | 3.54 | 6.10 | 6.516 | 1.12 | 16.72 |
| 2011 | 5.28 | 11.53 | 9.09 | 7.82 | 2.66 | 1.60 | 1.14 | 1.09 | 1.14 | 0.75 | 1.38 | 3.72 | 3.933 | 0.75 | 11.53 |
| Media | 5.86 | 8.48 | 7.04 | 4.61 | 2.08 | 1.47 | 1.30 | 1.20 | 1.22 | 1.34 | 1.90 | 3.28 | 3.315 | 1.20 | 8.48 |
| D. Std. | 3.45 | 4.61 | 3.46 | 2.38 | 0.77 | 0.37 | 0.30 | 0.23 | 0.24 | 0.32 | 0.85 | 1.52 | 1.542 | | |
| Min. | 1.430 | 2.050 | 1.890 | 1.670 | 1.070 | 0.970 | 0.890 | 0.810 | 0.920 | 0.750 | 1.000 | 1.060 | 1.209 | | |
| Max. | 16.720 | 17.830 | 15.350 | 10.950 | 4.590 | 2.460 | 2.350 | 2.000 | 2.180 | 2.260 | 4.670 | 6.390 | 7.313 | | |

Nota: Extraído de Senamhi, 2018

Anexo 3: Registro de episodios de El Niño y La Niña en índices ENOS.

Tabla 114

Índice de intensidad de episodios fríos y cálidos en el Perú

| CATEGORIA | PERIODO | JJA | JAS | ASO | SON | OND | NDJ | DJF | JFM | FMA | MAM | AMJ | MJJ |
|-----------|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 1950 - 1951 | -0.5 | -0.4 | -0.4 | -0.4 | -0.6 | -0.8 | -0.8 | -0.5 | -0.2 | 0.2 | 0.4 | 0.6 |
| ME | 1951 - 1952 | 0.7 | 0.9 | 1 | 1.2 | 1 | 0.8 | 0.5 | 0.4 | 0.3 | 0.3 | 0.2 | 0 |
| WE | 1952 - 1953 | -0.1 | 0 | 0.2 | 0.1 | 0 | 0.1 | 0.4 | 0.6 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.8 |
| WE | 1953 - 1954 | 0.7 | 0.7 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.5 | 0 | -0.4 | -0.5 | -0.5 |
| WL | 1954 - 1955 | -0.6 | -0.8 | -0.9 | -0.8 | -0.7 | -0.7 | -0.7 | -0.6 | -0.7 | -0.8 | -0.8 | -0.7 |
| ML | 1955 - 1956 | -0.7 | -0.7 | -1.1 | -1.4 | -1.7 | -1.5 | -1.1 | -0.8 | -0.6 | -0.5 | -0.5 | -0.5 |
| | 1956 - 1957 | -0.6 | -0.6 | -0.5 | -0.4 | -0.4 | -0.4 | -0.2 | 0.1 | 0.4 | 0.7 | 0.9 | 1.1 |
| SE | 1957 - 1958 | 1.3 | 1.3 | 1.3 | 1.4 | 1.5 | 1.7 | 1.8 | 1.7 | 1.3 | 0.9 | 0.7 | 0.6 |
| WE | 1958 - 1959 | 0.6 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.5 | 0.3 | 0.2 | -0.1 |
| | 1959 - 1960 | -0.2 | -0.3 | -0.1 | 0 | 0 | 0 | -0.1 | -0.1 | -0.1 | 0 | 0 | 0 |
| | 1960 - 1961 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0 | 0 | 0 | 0.1 | 0.2 | 0.3 |
| | 1961 - 1962 | 0.1 | -0.1 | -0.3 | -0.3 | -0.2 | -0.2 | -0.2 | -0.2 | -0.2 | -0.3 | -0.3 | -0.2 |
| | 1962 - 1963 | 0 | -0.1 | -0.1 | -0.2 | -0.3 | -0.4 | -0.4 | -0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.5 |
| ME | 1963 - 1964 | 0.9 | 1.1 | 1.2 | 1.3 | 1.4 | 1.3 | 1.1 | 0.6 | 0.1 | -0.3 | -0.6 | -0.6 |
| WL | 1964 - 1965 | -0.6 | -0.7 | -0.8 | -0.8 | -0.8 | -0.8 | -0.6 | -0.3 | -0.1 | 0.2 | 0.5 | 0.8 |
| SE | 1965 - 1966 | 1.2 | 1.5 | 1.9 | 2 | 2 | 1.7 | 1.4 | 1.2 | 1 | 0.7 | 0.4 | 0.2 |
| | 1966 - 1967 | 0.2 | 0.1 | -0.1 | -0.1 | -0.2 | -0.3 | -0.4 | -0.5 | -0.5 | -0.4 | -0.2 | 0 |
| | 1967 - 1968 | 0 | -0.2 | -0.3 | -0.4 | -0.3 | -0.4 | -0.6 | -0.7 | -0.6 | -0.4 | 0 | 0.3 |
| ME | 1968 - 1969 | 0.6 | 0.5 | 0.4 | 0.5 | 0.7 | 1 | 1.1 | 1.1 | 0.9 | 0.8 | 0.6 | 0.4 |
| WE | 1969 - 1970 | 0.4 | 0.5 | 0.8 | 0.9 | 0.8 | 0.6 | 0.5 | 0.3 | 0.3 | 0.2 | 0 | -0.3 |
| ML | 1970 - 1971 | -0.6 | -0.8 | -0.8 | -0.7 | -0.9 | -1.1 | -1.4 | -1.4 | -1.1 | -0.8 | -0.7 | -0.7 |
| WL | 1971 - 1972 | -0.8 | -0.8 | -0.8 | -0.9 | -1 | -0.9 | -0.7 | -0.4 | 0.1 | 0.4 | 0.7 | 0.9 |
| SE | 1972 - 1973 | 1.1 | 1.4 | 1.6 | 1.8 | 2.1 | 2.1 | 1.8 | 1.2 | 0.5 | -0.1 | -0.5 | -0.9 |
| SL | 1973 - 1974 | -1.1 | -1.3 | -1.5 | -1.7 | -1.9 | -2 | -1.8 | -1.6 | -1.2 | -1 | -0.9 | -0.8 |
| WL | 1974 - 1975 | -0.5 | -0.4 | -0.4 | -0.6 | -0.8 | -0.6 | -0.5 | -0.6 | -0.7 | -0.7 | -0.8 | -1 |
| SL | 1975 - 1976 | -1.1 | -1.2 | -1.4 | -1.4 | -1.6 | -1.7 | -1.6 | -1.2 | -0.7 | -0.5 | -0.3 | 0 |
| WE | 1976 - 1977 | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 0.9 | 0.8 | 0.7 | 0.6 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 0.3 |
| WE | 1977 - 1978 | 0.4 | 0.4 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.8 | 0.7 | 0.4 | 0.1 | -0.2 | -0.3 | -0.3 |
| | 1978 - 1979 | -0.4 | -0.4 | -0.4 | -0.3 | -0.1 | 0 | 0 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.2 | 0 |
| WE | 1979 - 1980 | 0 | 0.2 | 0.3 | 0.5 | 0.5 | 0.6 | 0.6 | 0.5 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.5 |
| | 1980 - 1981 | 0.3 | 0 | -0.1 | 0 | 0.1 | 0 | -0.3 | -0.5 | -0.5 | -0.4 | -0.3 | -0.3 |
| | 1981 - 1982 | -0.3 | -0.2 | -0.2 | -0.1 | -0.2 | -0.1 | 0 | 0.1 | 0.2 | 0.5 | 0.7 | 0.7 |
| VSE | 1982 - 1983 | 0.8 | 1.1 | 1.6 | 2 | 2.2 | 2.2 | 2.2 | 1.9 | 1.5 | 1.3 | 1.1 | 0.7 |
| WL | 1983 - 1984 | 0.3 | -0.1 | -0.5 | -0.8 | -1 | -0.9 | -0.6 | -0.4 | -0.3 | -0.4 | -0.5 | -0.4 |
| WL | 1984 - 1985 | -0.3 | -0.2 | -0.2 | -0.6 | -0.9 | -1.1 | -1 | -0.8 | -0.8 | -0.8 | -0.8 | -0.6 |
| | 1985 - 1986 | -0.5 | -0.5 | -0.4 | -0.3 | -0.3 | -0.4 | -0.5 | -0.5 | -0.3 | -0.2 | -0.1 | 0 |
| ME | 1986 - 1987 | 0.2 | 0.4 | 0.7 | 0.9 | 1.1 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.1 | 0.9 | 1 | 1.2 |
| SE | 1987 - 1988 | 1.5 | 1.7 | 1.6 | 1.5 | 1.3 | 1.1 | 0.8 | 0.5 | 0.1 | -0.3 | -0.9 | -1.3 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| SL | 1988 - 1989 | -1.3 | -1.1 | -1.2 | -1.5 | -1.8 | -1.8 | -1.7 | -1.4 | -1.1 | -0.8 | -0.6 | -0.4 |
| | 1989 - 1990 | -0.3 | -0.3 | -0.2 | -0.2 | -0.2 | -0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
| | 1990 - 1991 | 0.3 | 0.4 | 0.4 | 0.3 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.3 | 0.2 | 0.3 | 0.5 | 0.6 |
| SE | 1991 - 1992 | 0.7 | 0.6 | 0.6 | 0.8 | 1.2 | 1.5 | 1.7 | 1.6 | 1.5 | 1.3 | 1.1 | 0.7 |
| | 1992 - 1993 | 0.4 | 0.1 | -0.1 | -0.2 | -0.3 | -0.1 | 0.1 | 0.3 | 0.5 | 0.7 | 0.7 | 0.6 |
| | 1993 - 1994 | 0.3 | 0.3 | 0.2 | 0.1 | 0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.4 |
| ME | 1994 - 1995 | 0.4 | 0.4 | 0.6 | 0.7 | 1 | 1.1 | 1 | 0.7 | 0.5 | 0.3 | 0.1 | 0 |
| ML | 1995 - 1996 | -0.2 | -0.5 | -0.8 | -1 | -1 | -1 | -0.9 | -0.8 | -0.6 | -0.4 | -0.3 | -0.3 |
| | 1996 - 1997 | -0.3 | -0.3 | -0.4 | -0.4 | -0.4 | -0.5 | -0.5 | -0.4 | -0.1 | 0.3 | 0.8 | 1.2 |
| VSE | 1997 - 1998 | 1.6 | 1.9 | 2.1 | 2.3 | 2.4 | 2.4 | 2.2 | 1.9 | 1.4 | 1 | 0.5 | -0.1 |
| SL | 1998 - 1999 | -0.8 | -1.1 | -1.3 | -1.4 | -1.5 | -1.6 | -1.5 | -1.3 | -1.1 | -1 | -1 | -1 |
| SL | 1999 - 2000 | -1.1 | -1.1 | -1.2 | -1.3 | -1.5 | -1.7 | -1.7 | -1.4 | -1.1 | -0.8 | -0.7 | -0.6 |
| WL | 2000 - 2001 | -0.6 | -0.5 | -0.5 | -0.6 | -0.7 | -0.7 | -0.7 | -0.5 | -0.4 | -0.3 | -0.3 | -0.1 |
| | 2001 - 2002 | -0.1 | -0.1 | -0.2 | -0.3 | -0.3 | -0.3 | -0.1 | 0 | 0.1 | 0.2 | 0.4 | 0.7 |
| ME | 2002 - 2003 | 0.8 | 0.9 | 1 | 1.2 | 1.3 | 1.1 | 0.9 | 0.6 | 0.4 | 0 | -0.3 | -0.2 |
| | 2003 - 2004 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.3 |
| WE | 2004 - 2005 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.6 | 0.6 | 0.4 | 0.4 | 0.3 | 0.1 |
| WL | 2005 - 2006 | -0.1 | -0.1 | -0.1 | -0.3 | -0.6 | -0.8 | -0.8 | -0.7 | -0.5 | -0.3 | 0 | 0 |
| WE | 2006 - 2007 | 0.1 | 0.3 | 0.5 | 0.7 | 0.9 | 0.9 | 0.7 | 0.3 | 0 | -0.2 | -0.3 | -0.4 |
| SL | 2007 - 2008 | -0.5 | -0.8 | -1.1 | -1.4 | -1.5 | -1.6 | -1.6 | -1.4 | -1.2 | -0.9 | -0.8 | -0.5 |
| WL | 2008 - 2009 | -0.4 | -0.3 | -0.3 | -0.4 | -0.6 | -0.7 | -0.8 | -0.7 | -0.5 | -0.2 | 0.1 | 0.4 |
| ME | 2009 - 2010 | 0.5 | 0.5 | 0.7 | 1 | 1.3 | 1.6 | 1.5 | 1.3 | 0.9 | 0.4 | -0.1 | -0.6 |
| SL | 2010 - 2011 | -1 | -1.4 | -1.6 | -1.7 | -1.7 | -1.6 | -1.4 | -1.1 | -0.8 | -0.6 | -0.5 | -0.4 |
| ML | 2011 - 2012 | -0.5 | -0.7 | -0.9 | -1.1 | -1.1 | -1 | -0.8 | -0.6 | -0.5 | -0.4 | -0.2 | 0.1 |
| | 2012 - 2013 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.2 | 0 | -0.2 | -0.4 | -0.3 | -0.2 | -0.2 | -0.3 | -0.3 |
| | 2013 - 2014 | -0.4 | -0.4 | -0.3 | -0.2 | -0.2 | -0.3 | -0.4 | -0.4 | -0.2 | 0.1 | 0.3 | 0.2 |
| WE | 2014 - 2015 | 0.1 | 0 | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 0.7 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.8 | 1 | 1.2 |
| VSE | 2015 - 2016 | 1.5 | 1.8 | 2.1 | 2.4 | 2.5 | 2.6 | 2.5 | 2.2 | 1.7 | 1 | 0.5 | 0 |
| WL | 2016 - 2017 | -0.3 | -0.6 | -0.7 | -0.7 | -0.7 | -0.6 | -0.3 | -0.1 | 0.1 | 0.3 | 0.4 | 0.4 |
| WL | 2017 - 2018 | 0.2 | -0.1 | -0.4 | -0.7 | -0.9 | -1 | -0.9 | -0.8 | -0.6 | -0.4 | -0.1 | 0.1 |
| WE | 2018 - 2019 | 0.1 | 0.1 | 0.4 | 0.7 | 0.9 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.6 | 0.5 |
| | 2019 - 2020 | 0.3 | 0.1 | 0.1 | 0.3 | 0.5 | 0.6 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | | | |

Nota: Extraído de <https://ggweather.com/enso/oni.htm>

DESCRIPCIÓN: Períodos cálidos (rojos) y fríos (azules) basados en un umbral de +/- 0.5 o C para el Índice oceánico del Niño (ONI) [media de ejecución de 3 meses de anomalías ERSST.v5 SST en la región Niño 3.4 (5 o N-5 o S, 120 o -170 o W)], basado en períodos básicos centrados de 30 años actualizados cada 5 años.

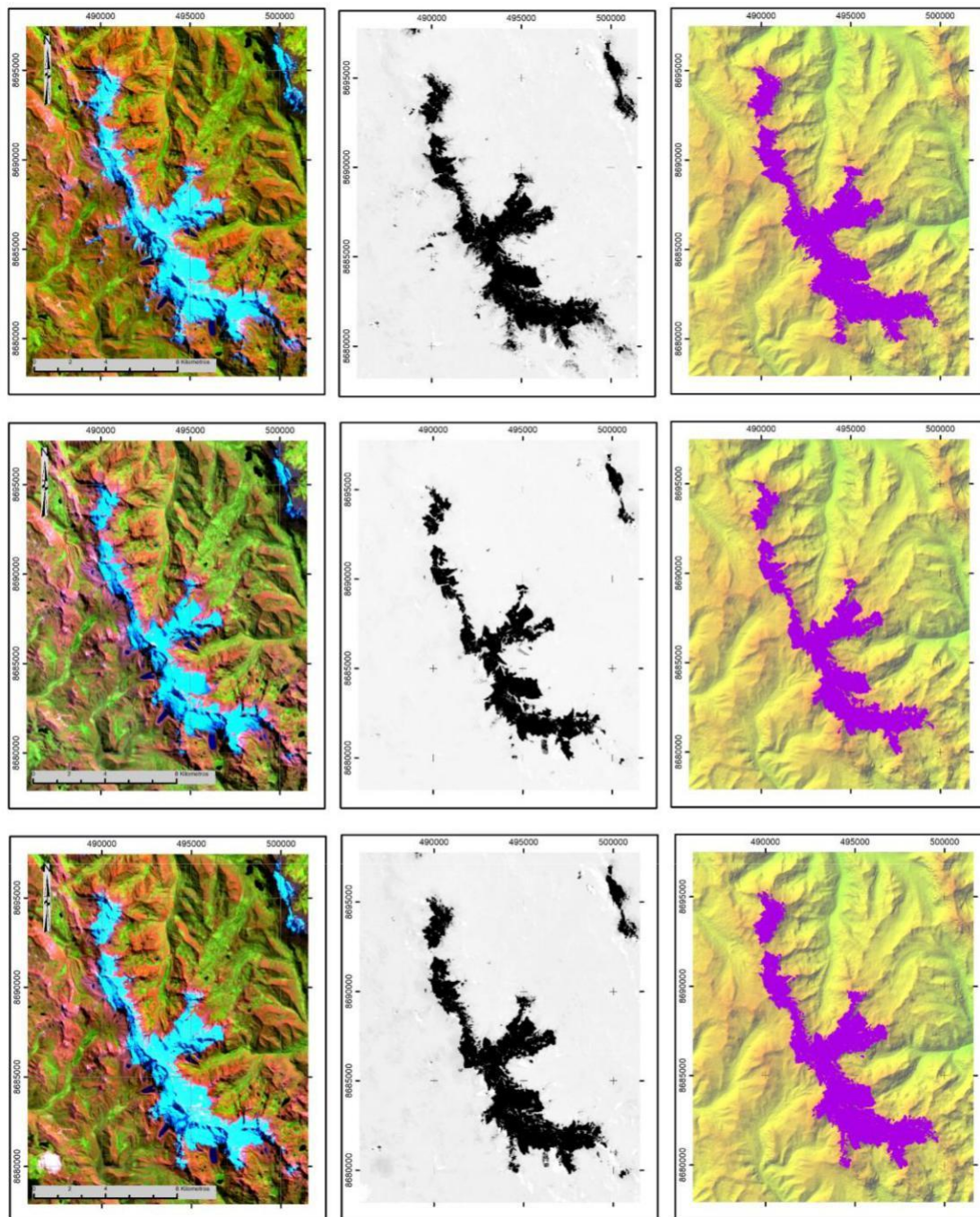
Para fines históricos, los períodos de TSM normales por debajo y por encima se colorean en azul y rojo cuando se alcanza el umbral durante un mínimo de 5 temporadas superpuestas consecutivas. El ONI es una medida de El Niño-Oscilación del Sur, y otros índices pueden confirmar si las características consistentes con un fenómeno de atmósfera oceánica acoplada acompañaron estos períodos.

Events are defined as 5 consecutive overlapping 3-month periods at or above the +0.5o anomaly for warm (El Niño) events and at or below the -0.5 anomaly for cold (La Niña) events. The threshold is further broken down into Weak (with a 0.5 to 0.9 SST anomaly), Moderate (1.0 to 1.4), Strong (1.5 to 1.9) and Very Strong (≥ 2.0) events. For the purpose of this report for an event to be categorized as weak, moderate, strong or very strong it must have equaled or exceeded the threshold for at least 3 consecutive overlapping 3-month periods.

Anexo 4: Grafica histórica de retroceso glaciar

Figura 63

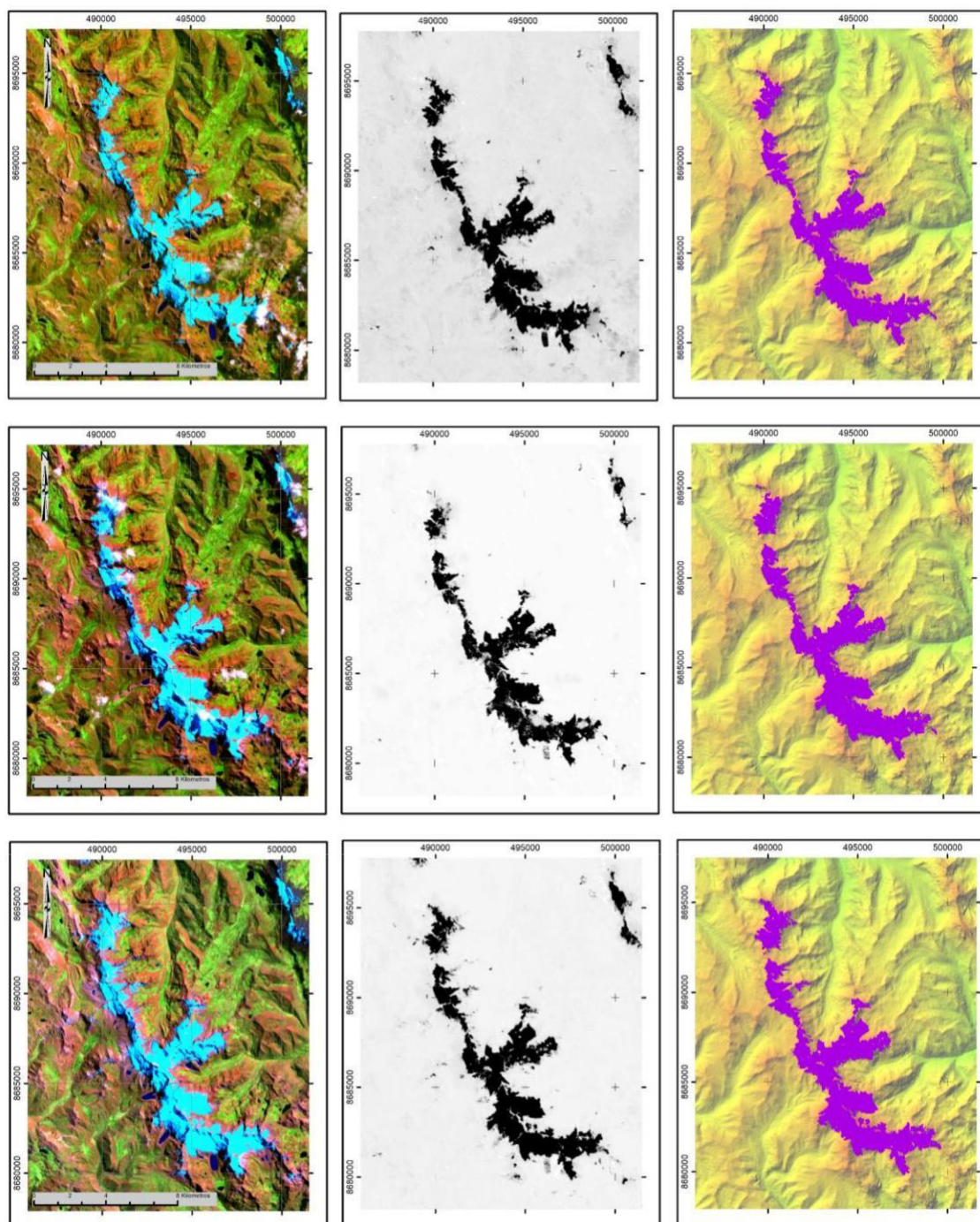
Retroceso glaciar periodo 1985, 1988 y 1989



Descripción: Imágenes superiores de izquierda a derecha; Imagen en falso color, índice NDSI, vector de área glaciar. Las tres imágenes superiores pertenecen al año 1985, las tres imágenes horizontales del medio pertenecen al año 1988 y las tres imágenes horizontales inferiores son pertenecientes al año 1989.

Figura 64

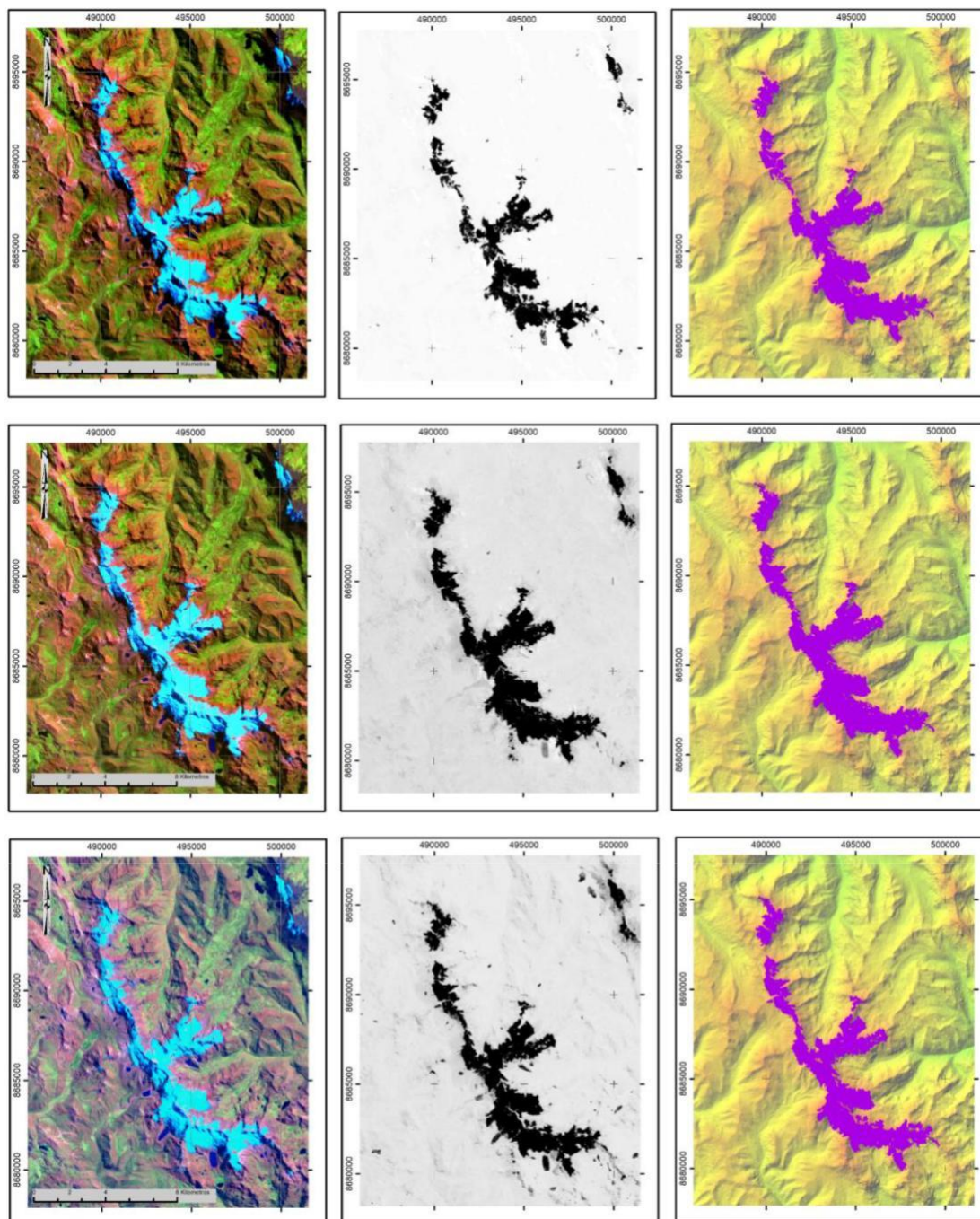
Retroceso glaciar periodo 1990, 1991 y 1992



Descripción: Imágenes superiores de izquierda a derecha; Imagen en falso color, índice NDSI, vector de área glaciar. Las tres imágenes superiores pertenecen al año 1990, las tres imágenes horizontales del medio pertenecen al año 1991 y las tres imágenes horizontales inferiores son pertenecientes al año 1992.

Figura 65

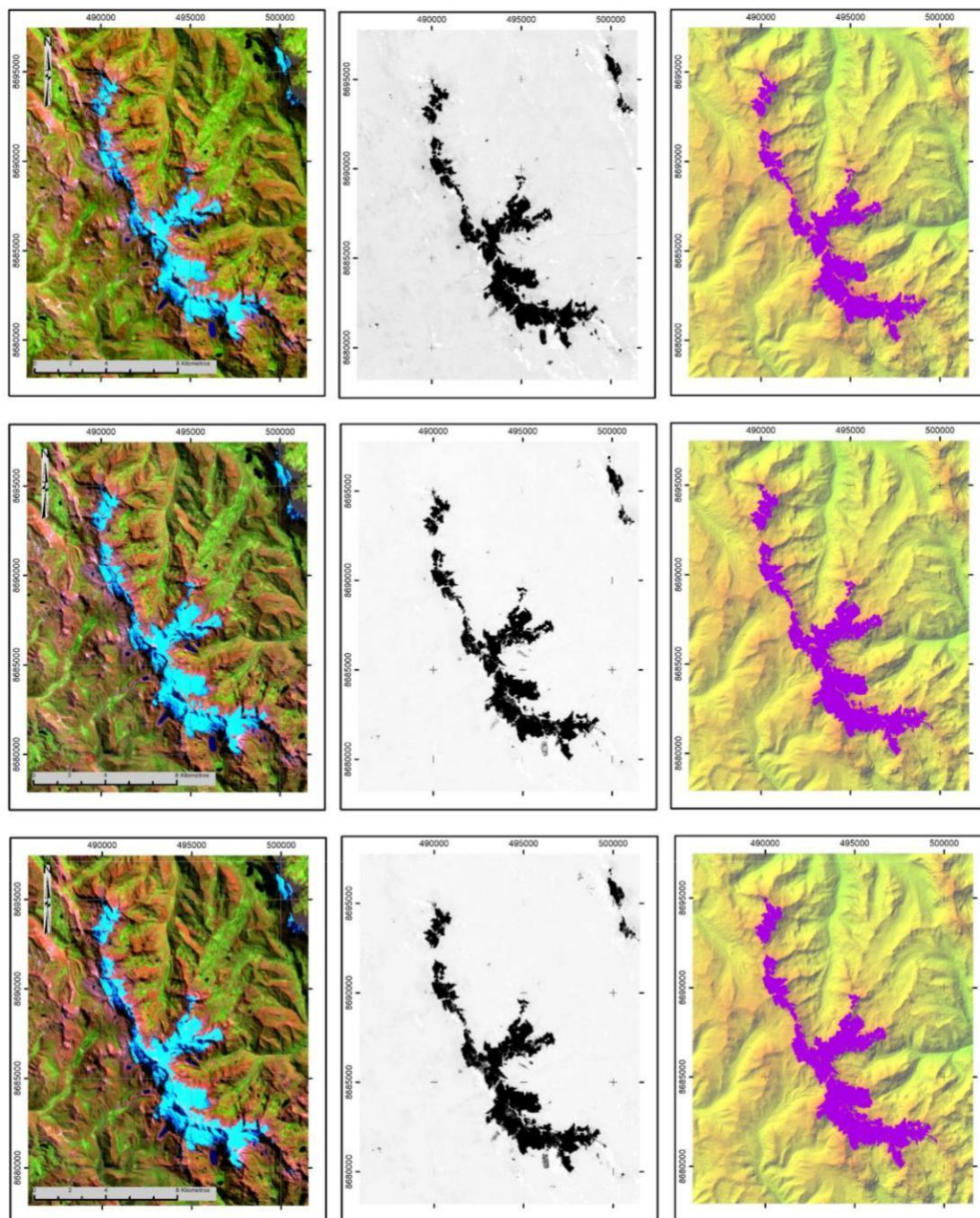
Retroceso glaciar periodo 1993, 1994 y 1995



Descripción: Imágenes superiores de izquierda a derecha; Imagen en falso color, índice NDSI, vector de área glaciar. Las tres imágenes superiores pertenecen al año 1993, las tres imágenes horizontales del medio pertenecen al año 1994 y las tres imágenes horizontales inferiores son pertenecientes al año 1995.

Figura 66

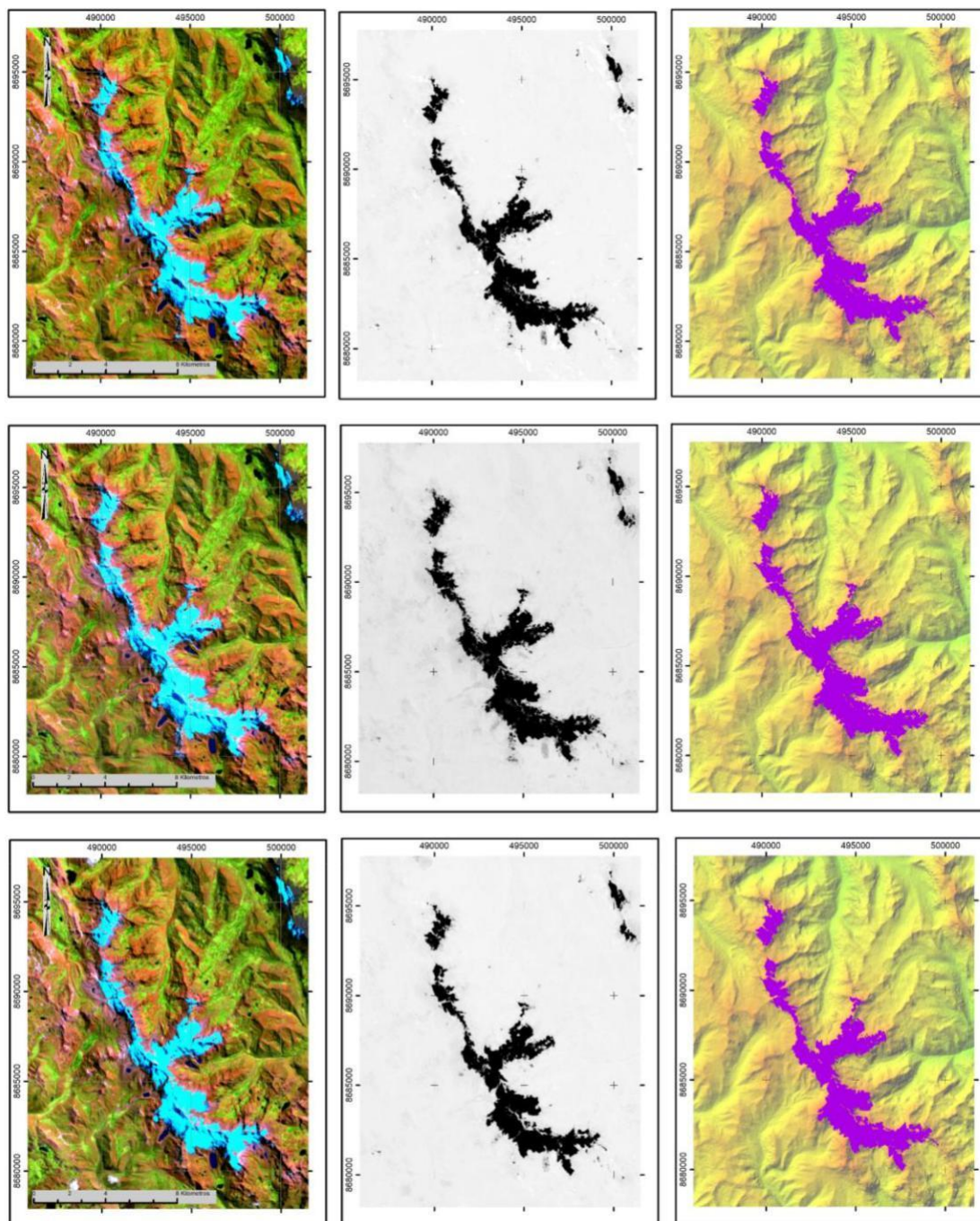
Retroceso glaciar periodo 1996, 1997 y 1998



Descripción: Imágenes superiores de izquierda a derecha; Imagen en falso color, índice NDSI, vector de área glaciar. Las tres imágenes superiores pertenecen al año 1996, las tres imágenes horizontales del medio pertenecen al año 1997 y las tres imágenes horizontales inferiores son pertenecientes al año 1998.

Figura 67

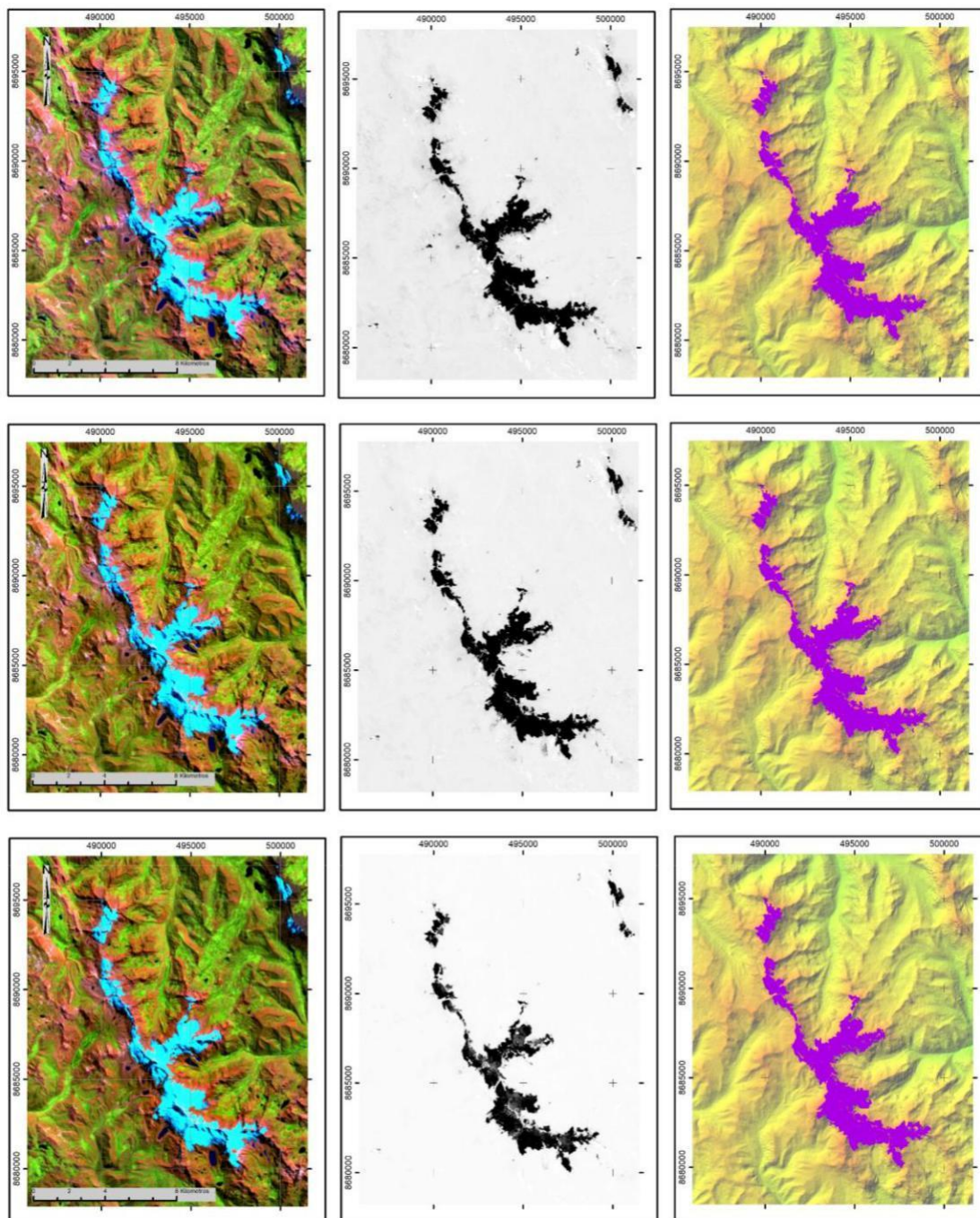
Retroceso glaciar periodo 1999, 2000 y 2001



Descripción: Imágenes superiores de izquierda a derecha; Imagen en falso color, índice NDSI, vector de área glaciar. Las tres imágenes superiores pertenecen al año 1999, las tres imágenes horizontales del medio pertenecen al año 2000 y las tres imágenes horizontales inferiores son pertenecientes al año 2001.

Figura 68

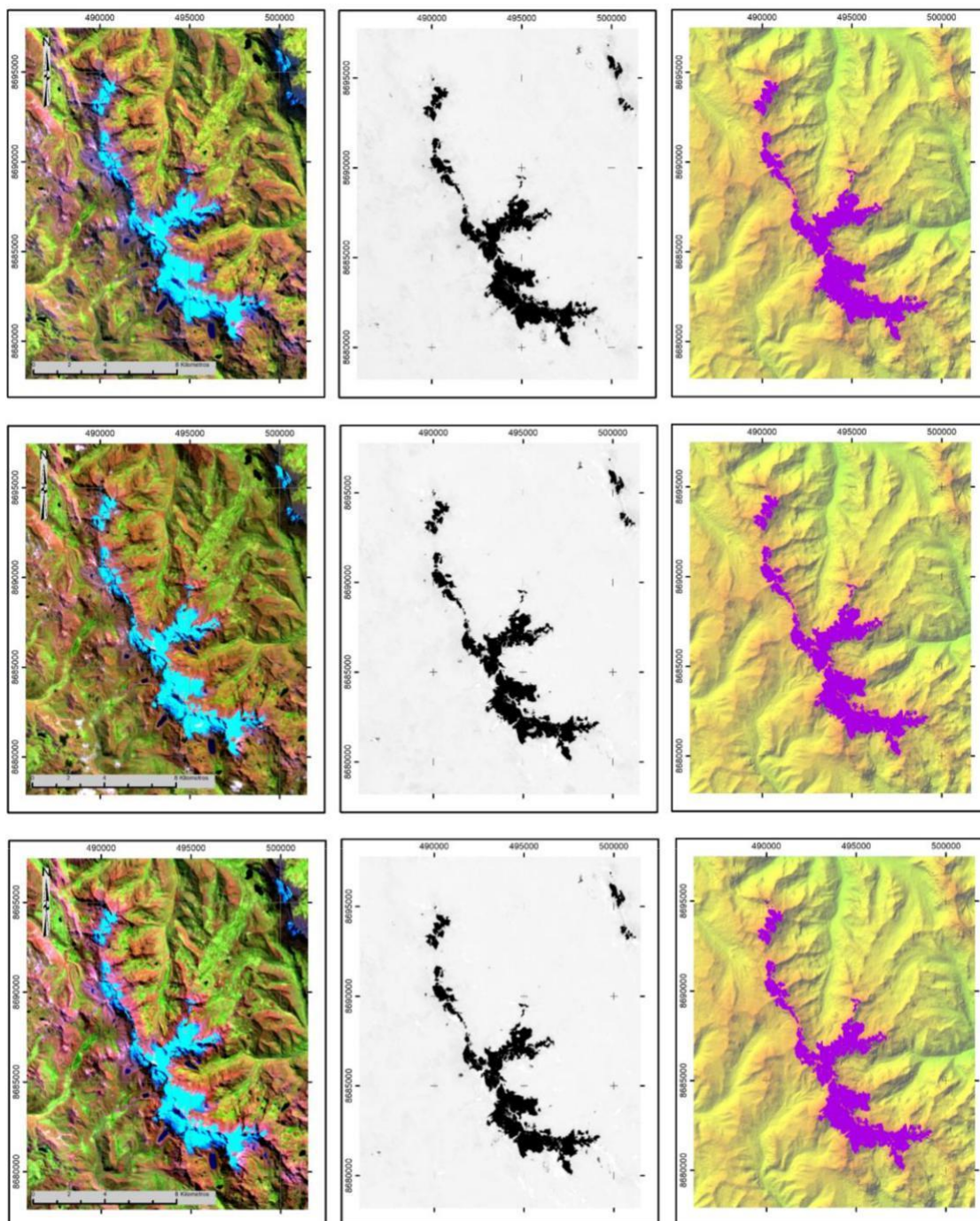
Retroceso glaciar periodo 2002, 2003 y 2004



Descripción: Imágenes superiores de izquierda a derecha; Imagen en falso color, índice NDSI, vector de área glaciar. Las tres imágenes superiores pertenecen al año 2002, las tres imágenes horizontales del medio pertenecen al año 2003 y las tres imágenes horizontales inferiores son pertenecientes al año 2004.

Figura 69

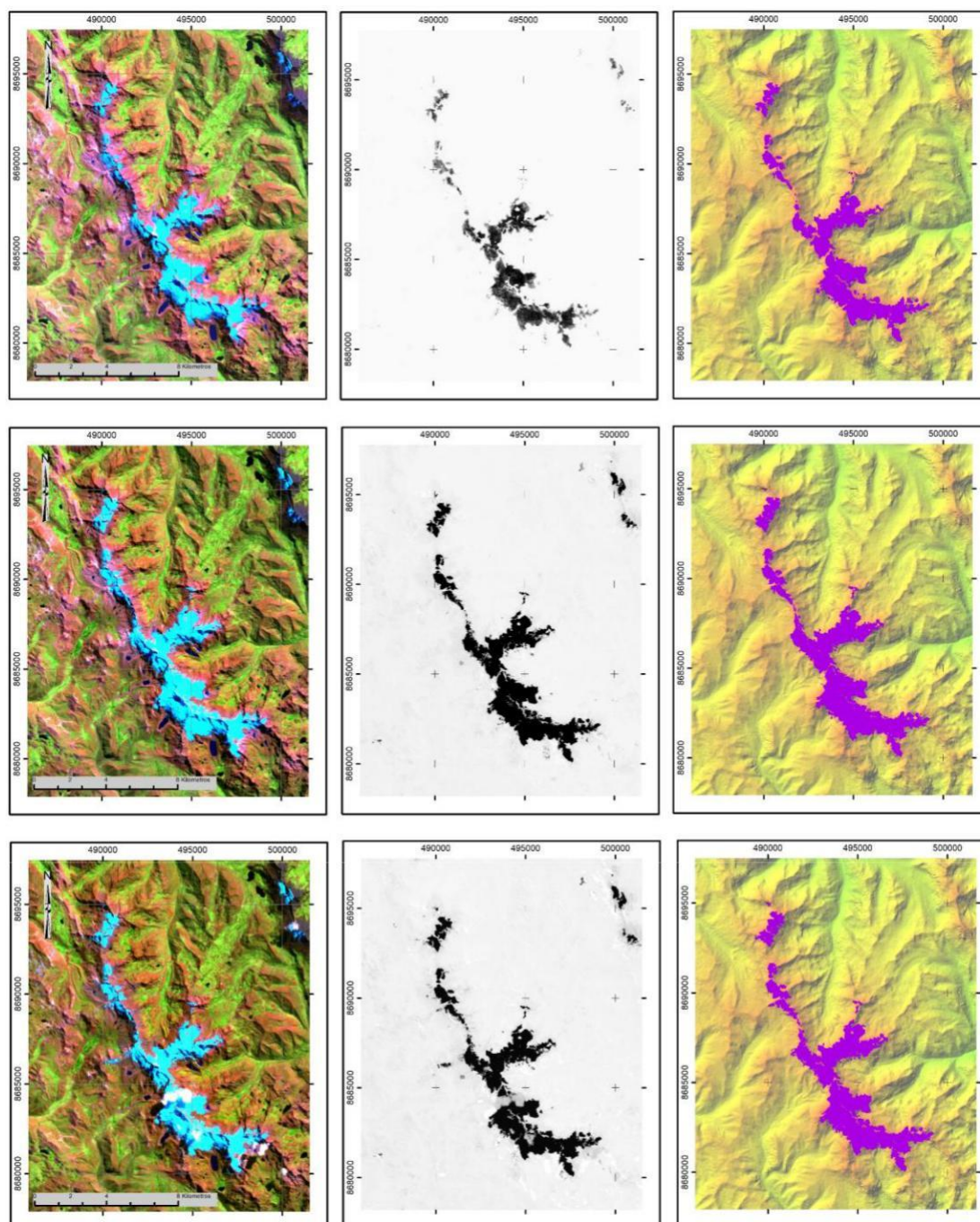
Retroceso glaciar periodo 2005, 2006 y 2007



Descripción: Imágenes superiores de izquierda a derecha; Imagen en falso color, índice NDSI, vector de área glaciar. Las tres imágenes superiores pertenecen al año 2005, las tres imágenes horizontales del medio pertenecen al año 2006 y las tres imágenes horizontales inferiores son pertenecientes al año 2007.

Figura 70

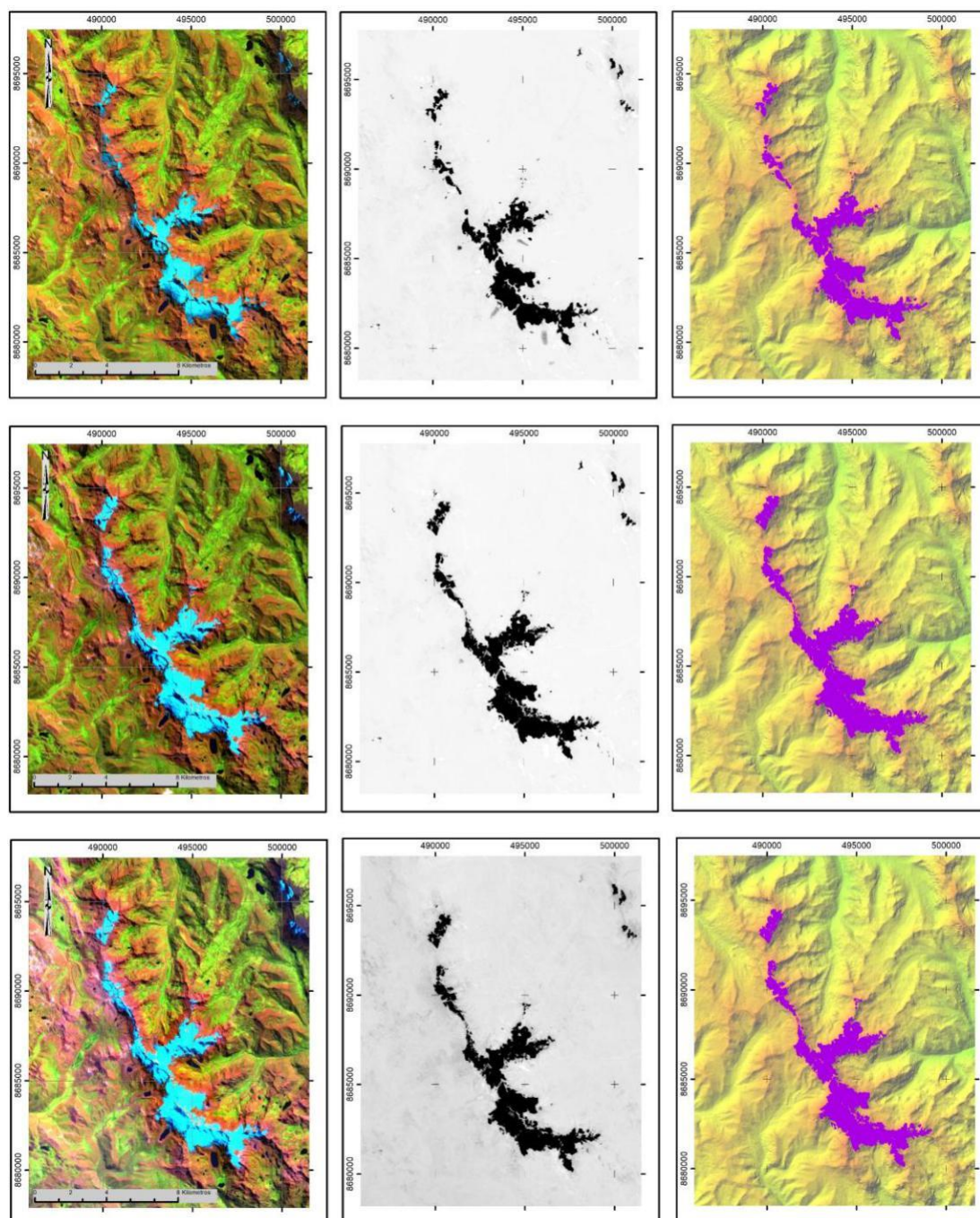
Retroceso glaciar periodo 2008, 2009 y 2010



Descripción: Imágenes superiores de izquierda a derecha; Imagen en falso color, índice NDSI, vector de área glaciar. Las tres imágenes superiores pertenecen al año 2008, las tres imágenes horizontales del medio pertenecen al año 2009 y las tres imágenes horizontales inferiores son pertenecientes al año 2010.

Figura 71

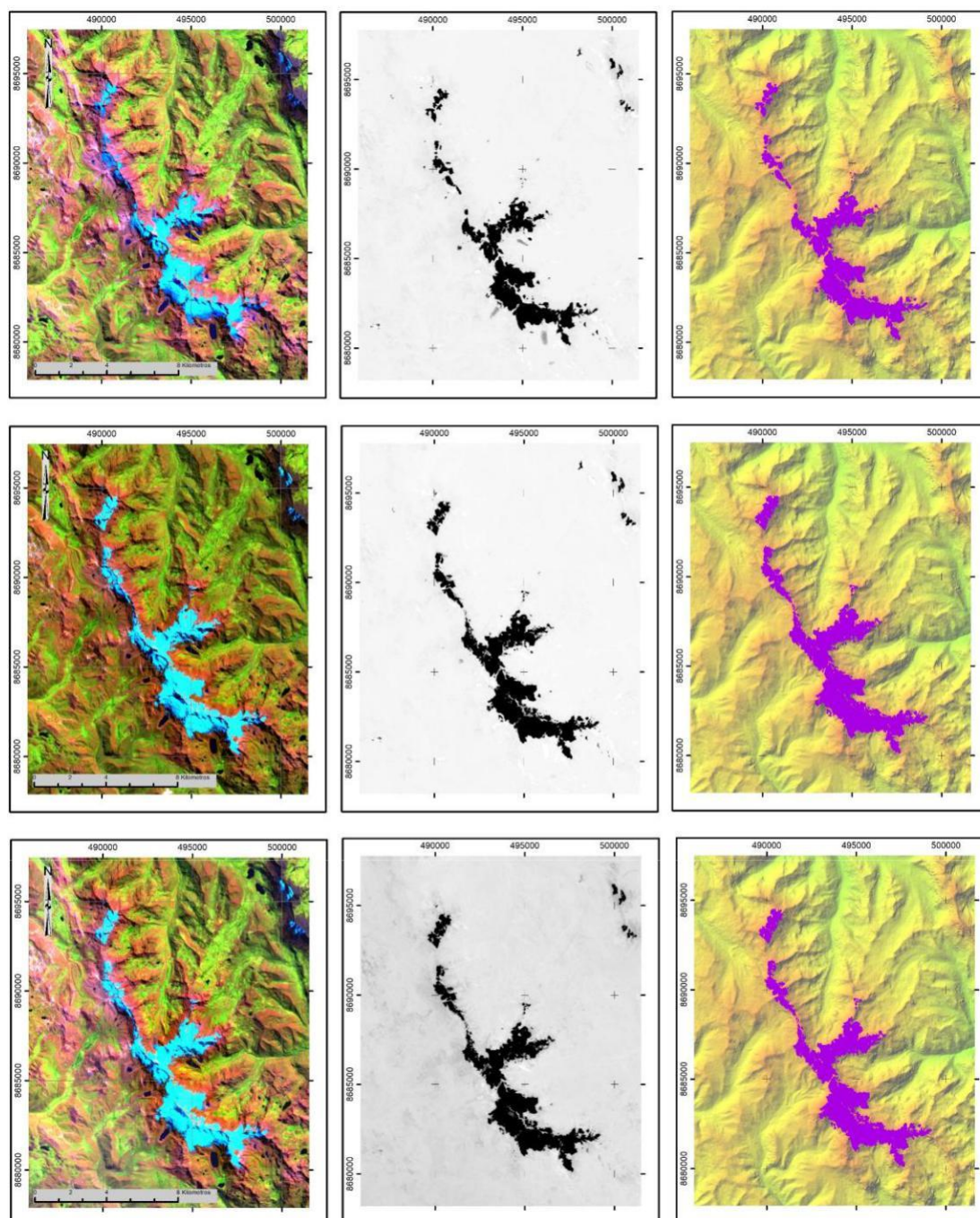
Retroceso glaciar periodo 2011, 2012 y 2013



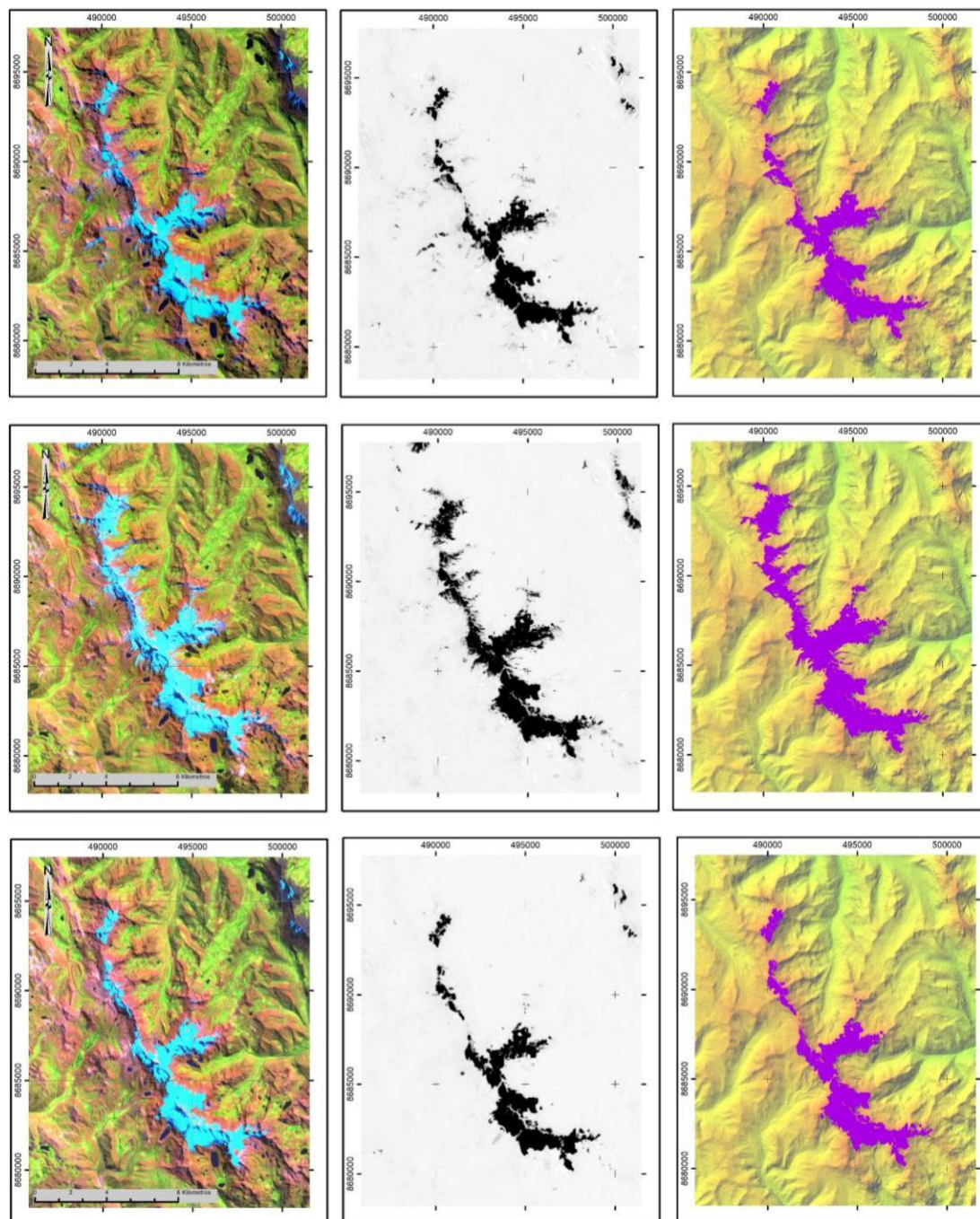
Descripción: Imágenes superiores de izquierda a derecha; Imagen en falso color, índice NDSI, vector de área glaciar. Las tres imágenes superiores pertenecen al año 2011, las tres imágenes horizontales del medio pertenecen al año 2012 y las tres imágenes horizontales inferiores son pertenecientes al año 2013.

Figura 72

Retroceso glaciar periodo 2014, 2015 y 2016



Descripción: Imágenes superiores de izquierda a derecha; Imagen en falso color, índice NDSI, vector de área glaciar. Las tres imágenes superiores pertenecen al año 2014, las tres imágenes horizontales del medio pertenecen al año 2015 y las tres imágenes horizontales inferiores son pertenecientes al año 2016.

Figura 73*Retroceso glaciar periodo 2017, 2018 y 2019*

Descripción: Imágenes superiores de izquierda a derecha; Imagen en falso color, índice NDSI, vector de área glaciar. Las tres imágenes superiores pertenecen al año 2017, las tres imágenes horizontales del medio pertenecen al año 2018 y las tres imágenes horizontales inferiores son pertenecientes al año 2019.

Anexo 6: Panel fotográfico

Fotografía 1: *Principal acceso de caudal originado de sublimación del glaciar.*



Fotografía 2: *Medición de parámetros de campo de agua superficial*



Fotografía 3: *Parte frontal del glaciar y línea de retroceso glaciar.*

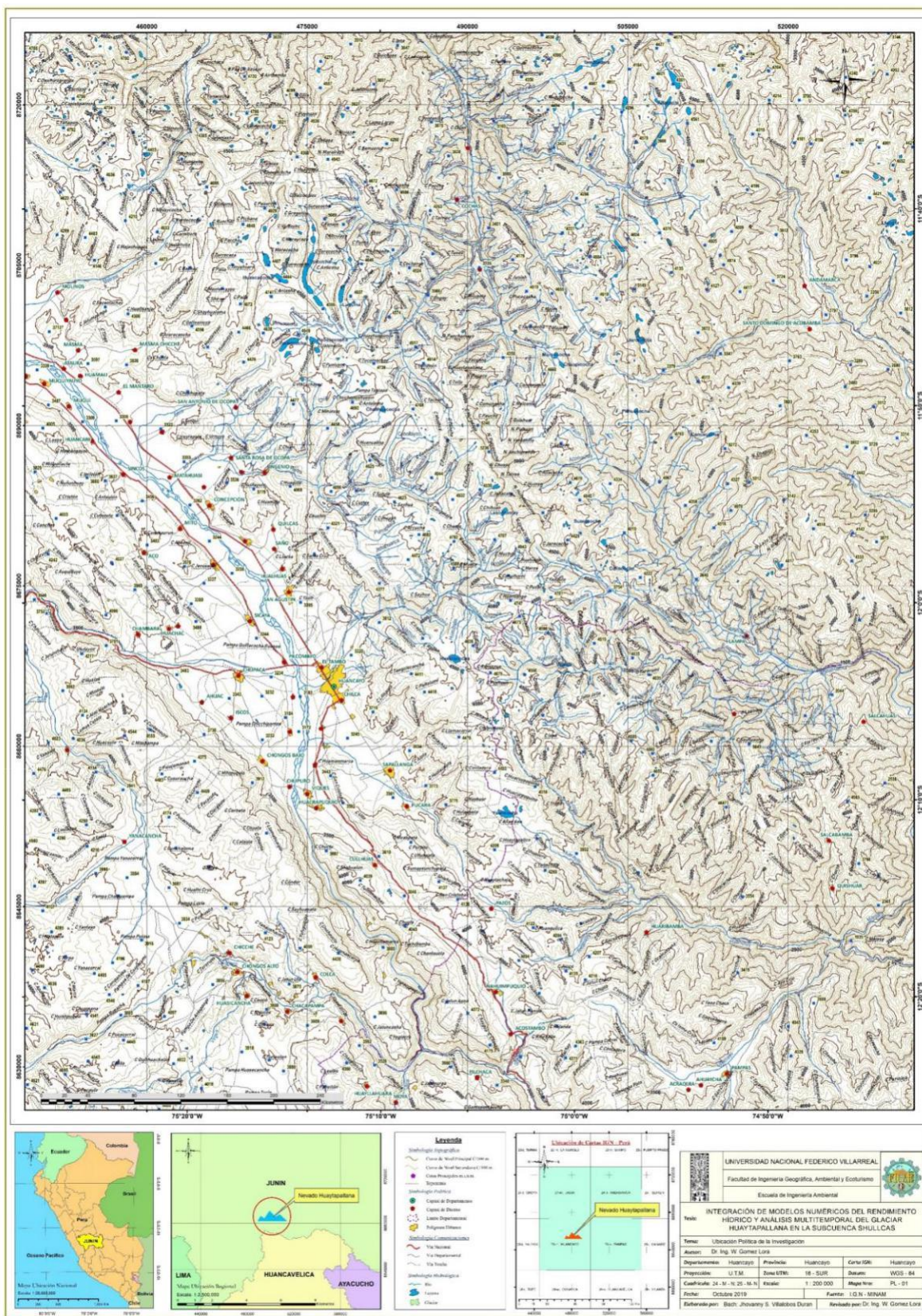


Fotografía 4: *Laguna Lasuntay de origen glaciar*

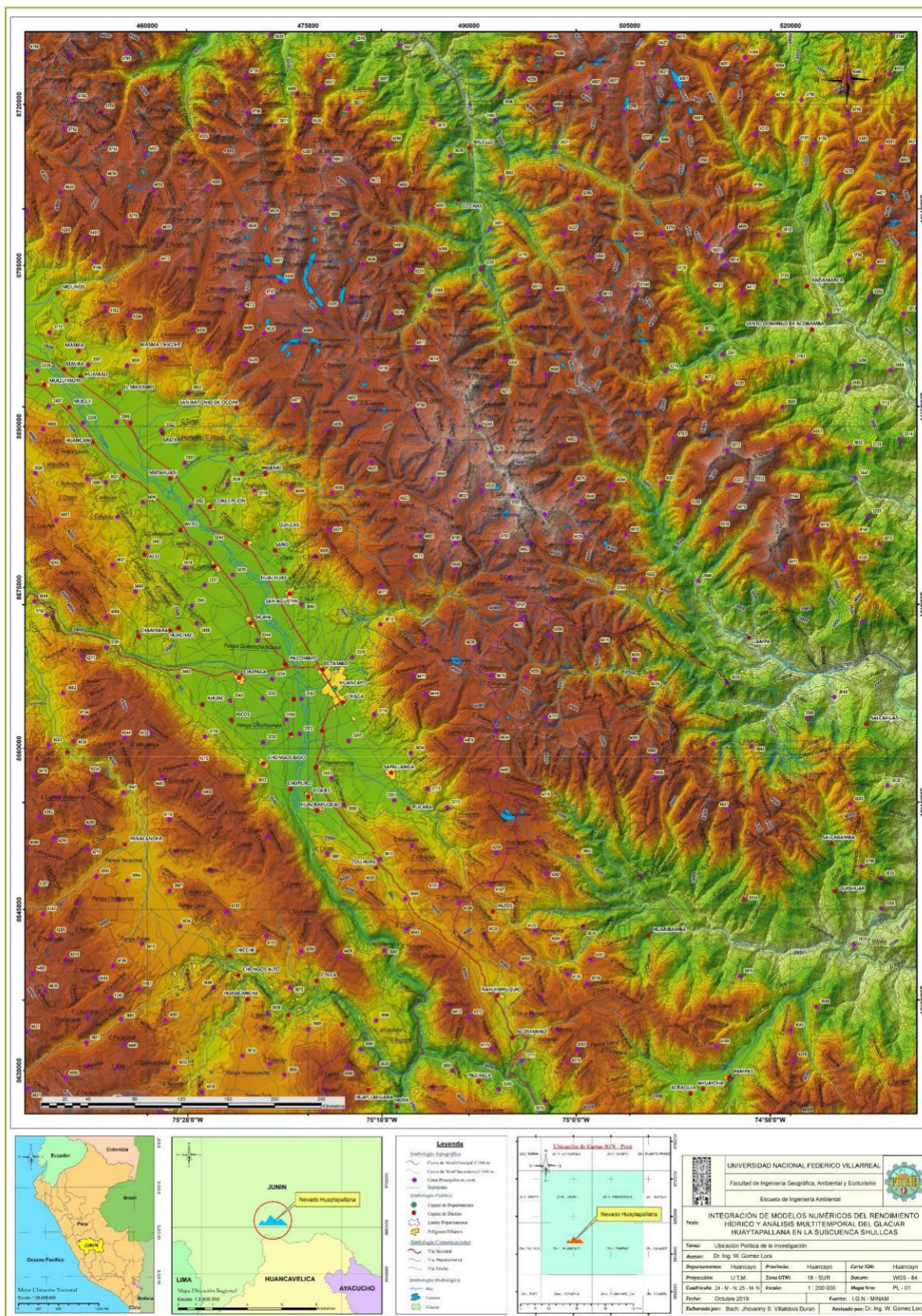


Anexo 7: Mapas de la investigación

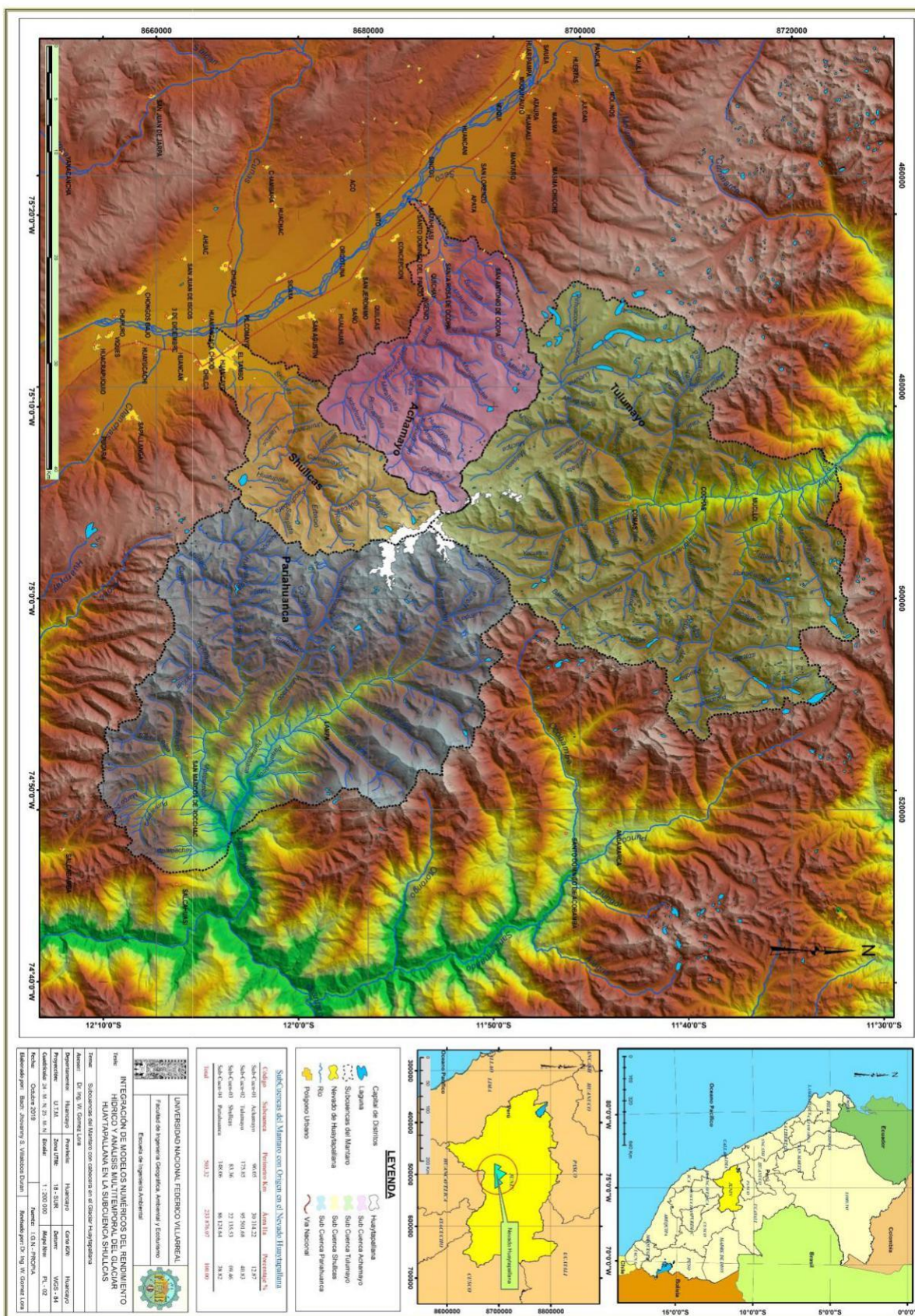
Mapa 1: Mapa base de valle del Mantaro – Ciudad de Huancayo.



Mapa 2: Mapa con relieve de valle del Mantaro – Ciudad de Huancayo.



Mapa 3: Subcuencas de origen glaciar Huaytapallana

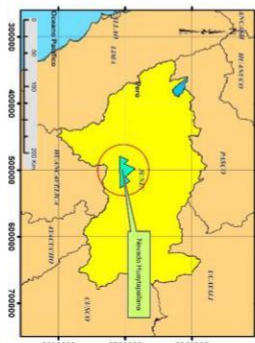


| | |
|--|--|
| | |
| UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecológica | |
| Escuela de Ingeniería Ambiental | |
| TÍTULO INTEGRACIÓN DE MODELOS NUMÉRICOS DEL BECIMENTO HÍDRICO Y ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL BECIMENTO HUAYTAPALLANA EN LA SUBCUECA SHULLCAS | |
| TIPO Subcuenca del Manto del Ocaso en el Nevado Huaytapallana | |
| Autores Dr. Ing. W. César Lara | Coautores Ing. W. César Lara |
| Departamento Ingeniería Ambiental | Provincia Huancayo |
| Dirección Calle 12 de Julio 1000 | Ciudad Huancayo |
| Fecha Octubre 2018 | Formato PDF |
| Elaborado por: María Johany Z. Villacorta Llano Revisado por: Dr. Ing. W. César Lara | |

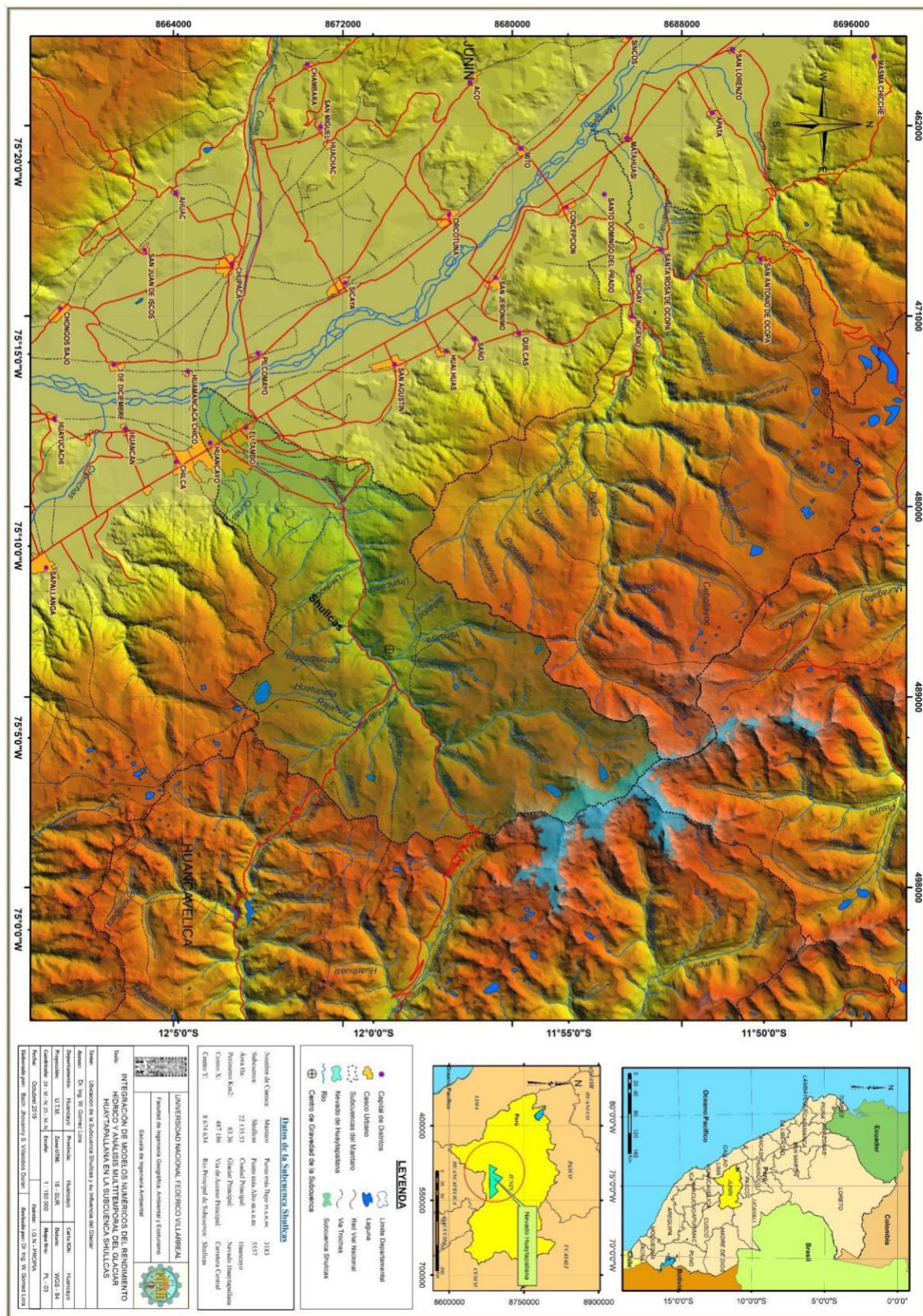
| Subcuenca del Manto del Ocaso en el Nevado Huaytapallana | | | |
|--|-------------------------|---------------------------|----------------------|
| Código | Subcuenca | Perímetro Km ² | Área Km ² |
| 1 | Subcuenca Huancayo | 173,85 | 41,22 |
| 2 | Subcuenca Huaytapallana | 87,5013 | 48,43 |
| 3 | Subcuenca Shullcas | 83,36 | 27,1513 |
| 4 | Subcuenca Parahuancra | 182,06 | 86,1244 |
| 5 | Subcuenca Tulumayo | 38,82 | 38,82 |
| Total | | 567,65 | 233,8167 |

LEYENDA

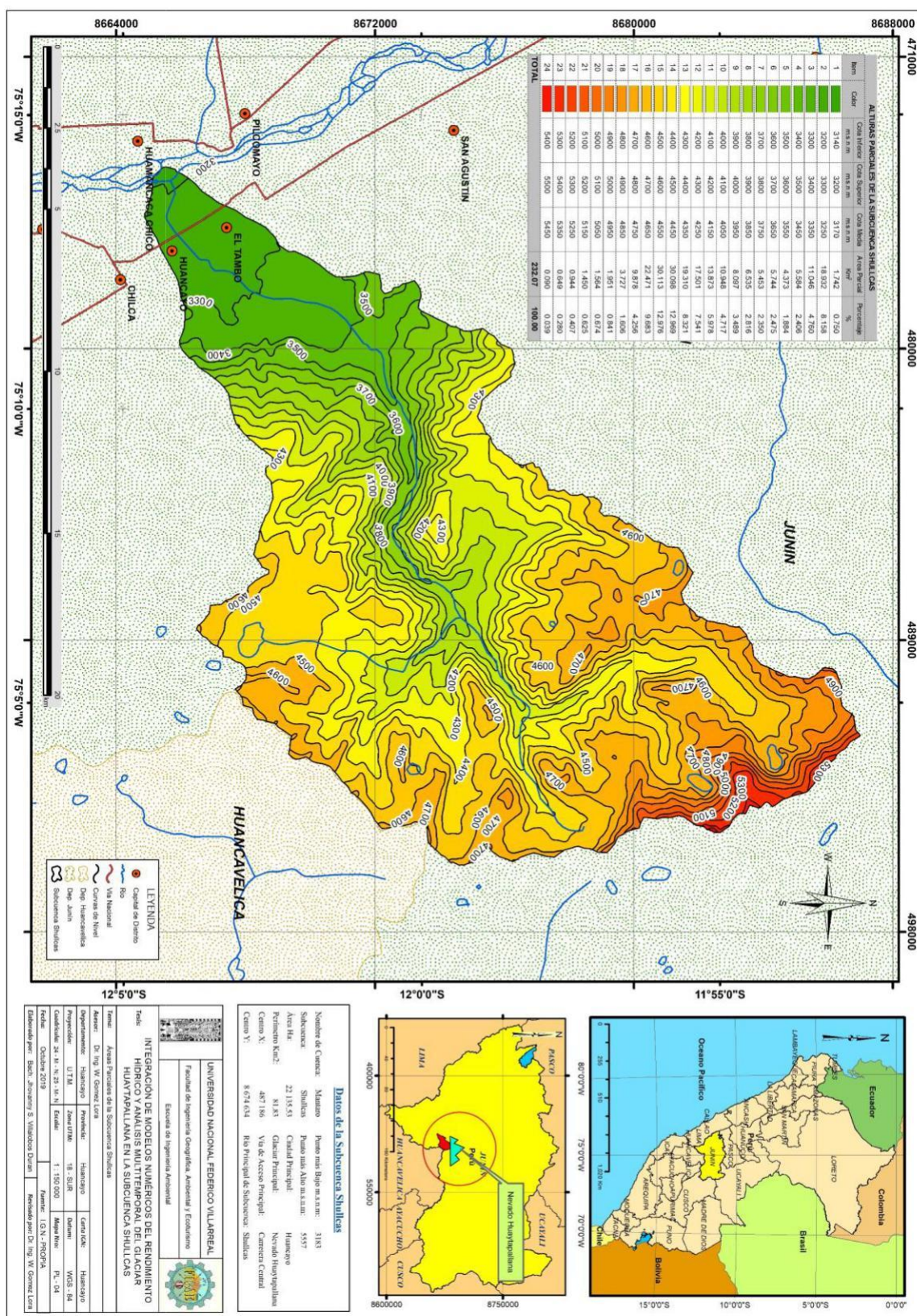
- Capital de Distrito
- Laguna
- Subcuenca del Manto
- Nevado de Huaytapallana
- Río
- Polígono Urbano
- Vía Nacional
- Huaytapallana
- Sub-Cuenca Achamayo
- Sub-Cuenca Tulumayo
- Sub-Cuenca Shullcas
- Sub-Cuenca Parahuancra



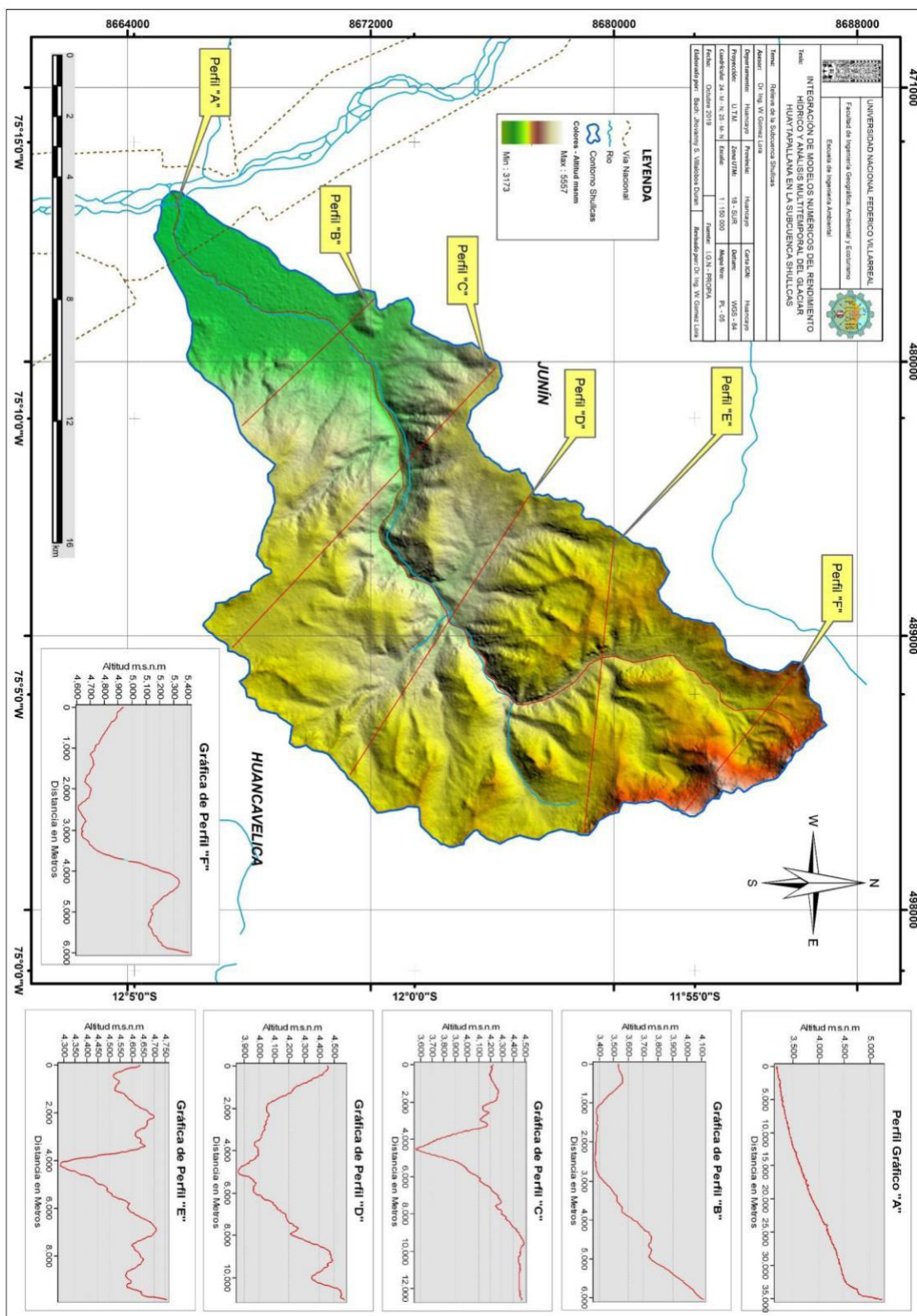
Mapa 4: Subcuencas de origen glaciar Huaytapallana



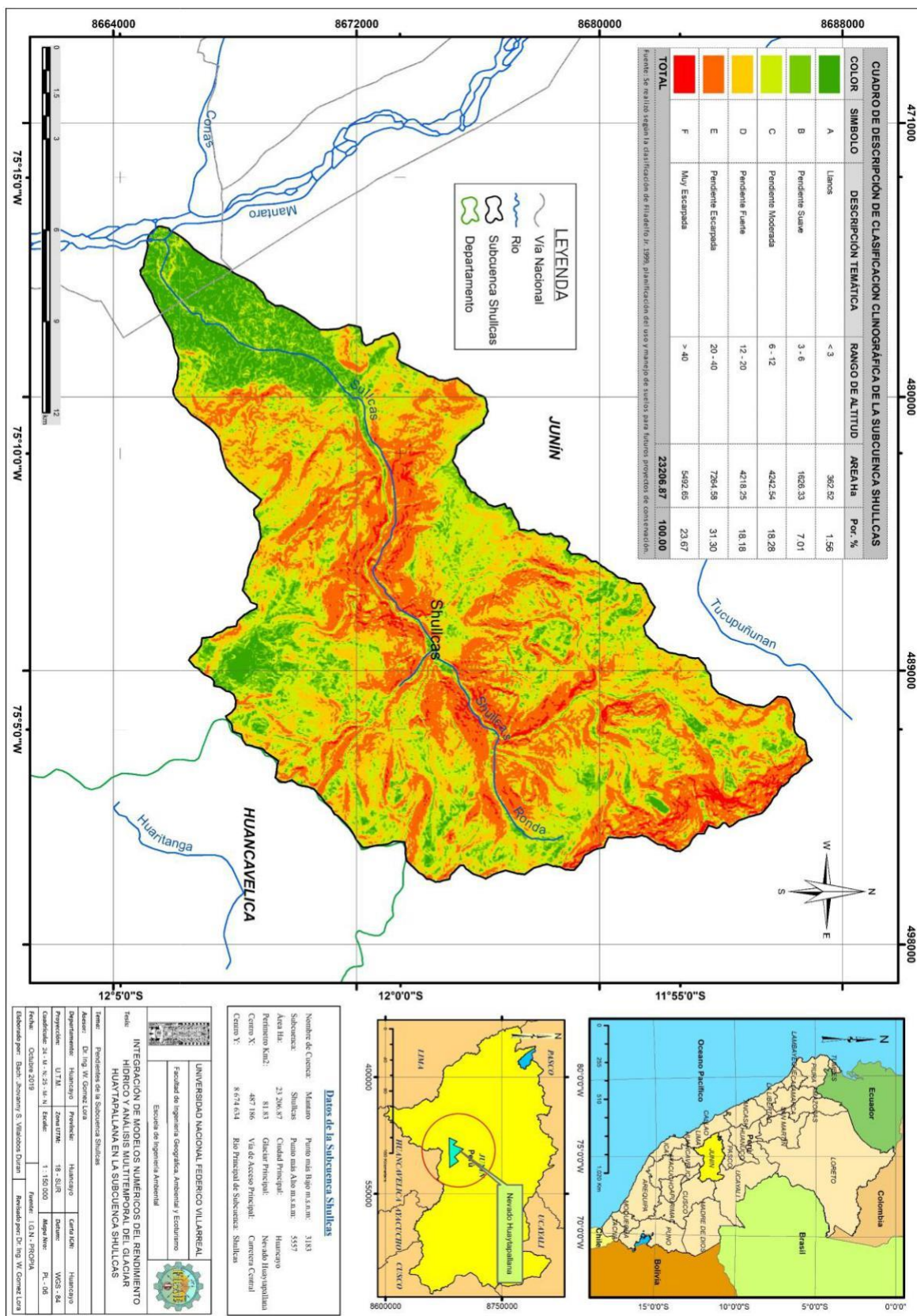
Mapa 5: Alturas parciales de la subcuenca Shullcas



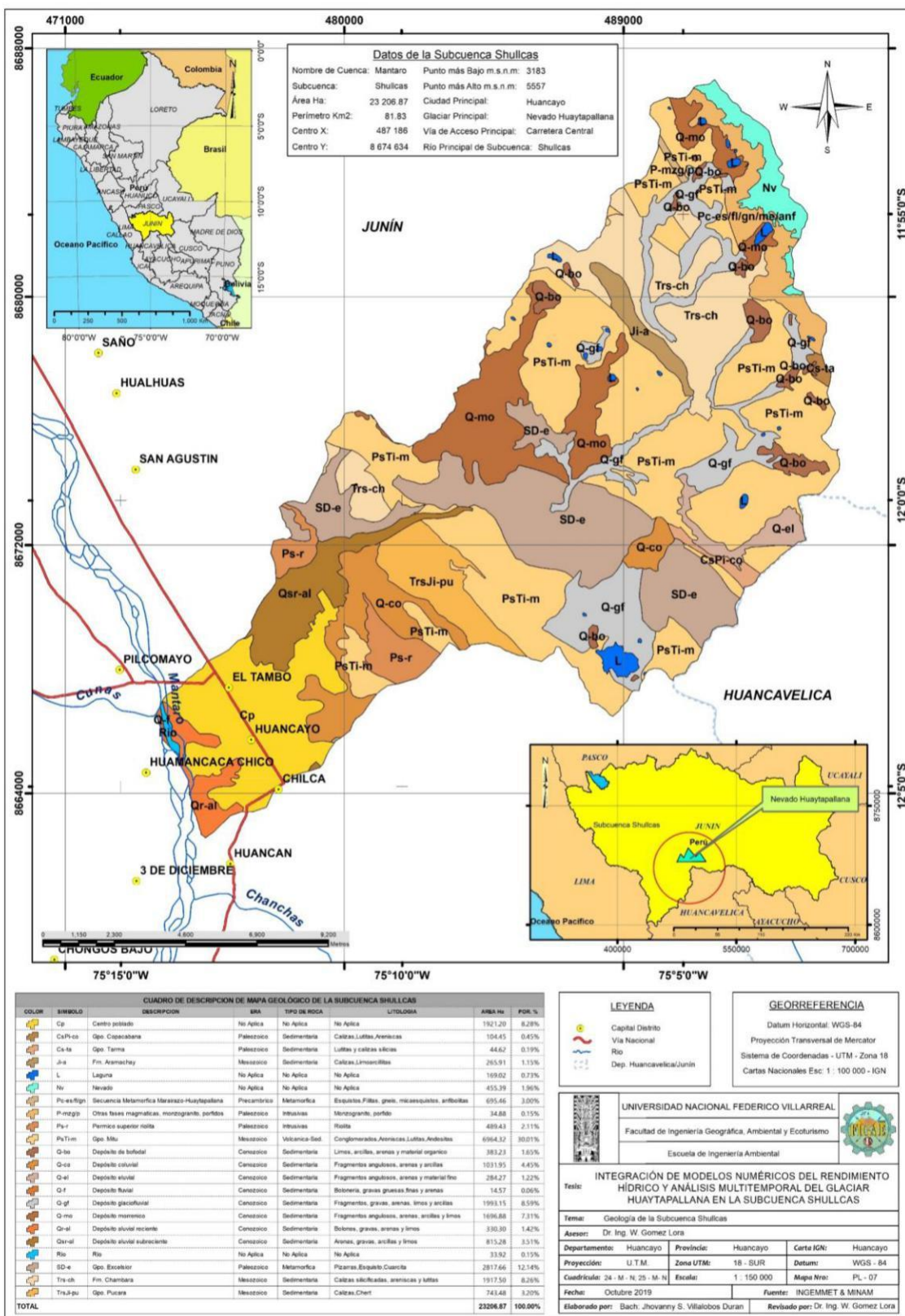
Mapa 6: Perfiles altitudinales de la subcuenca Shullcas



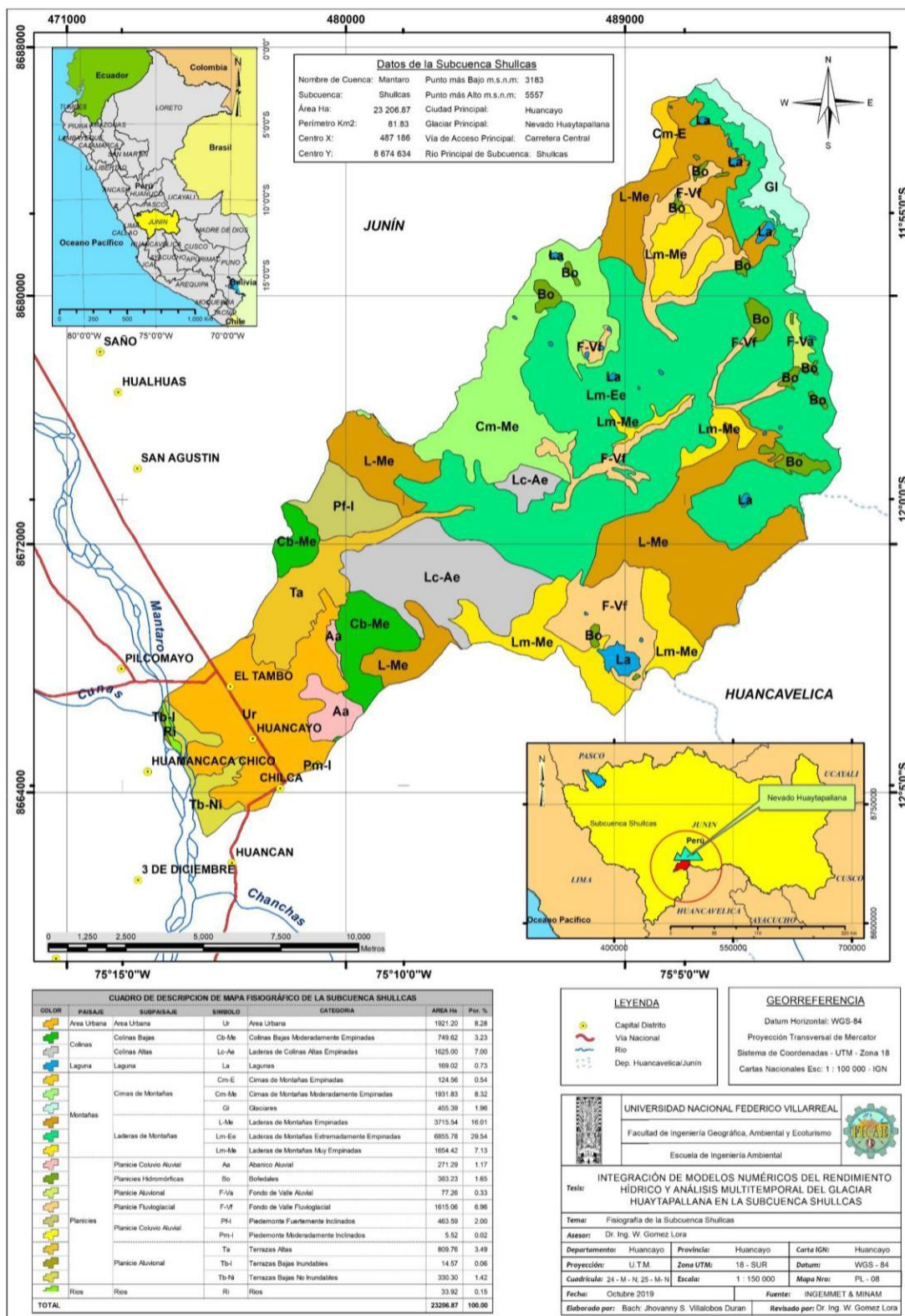
Mapa 7: Pendientes de la subcuenca Shullcas



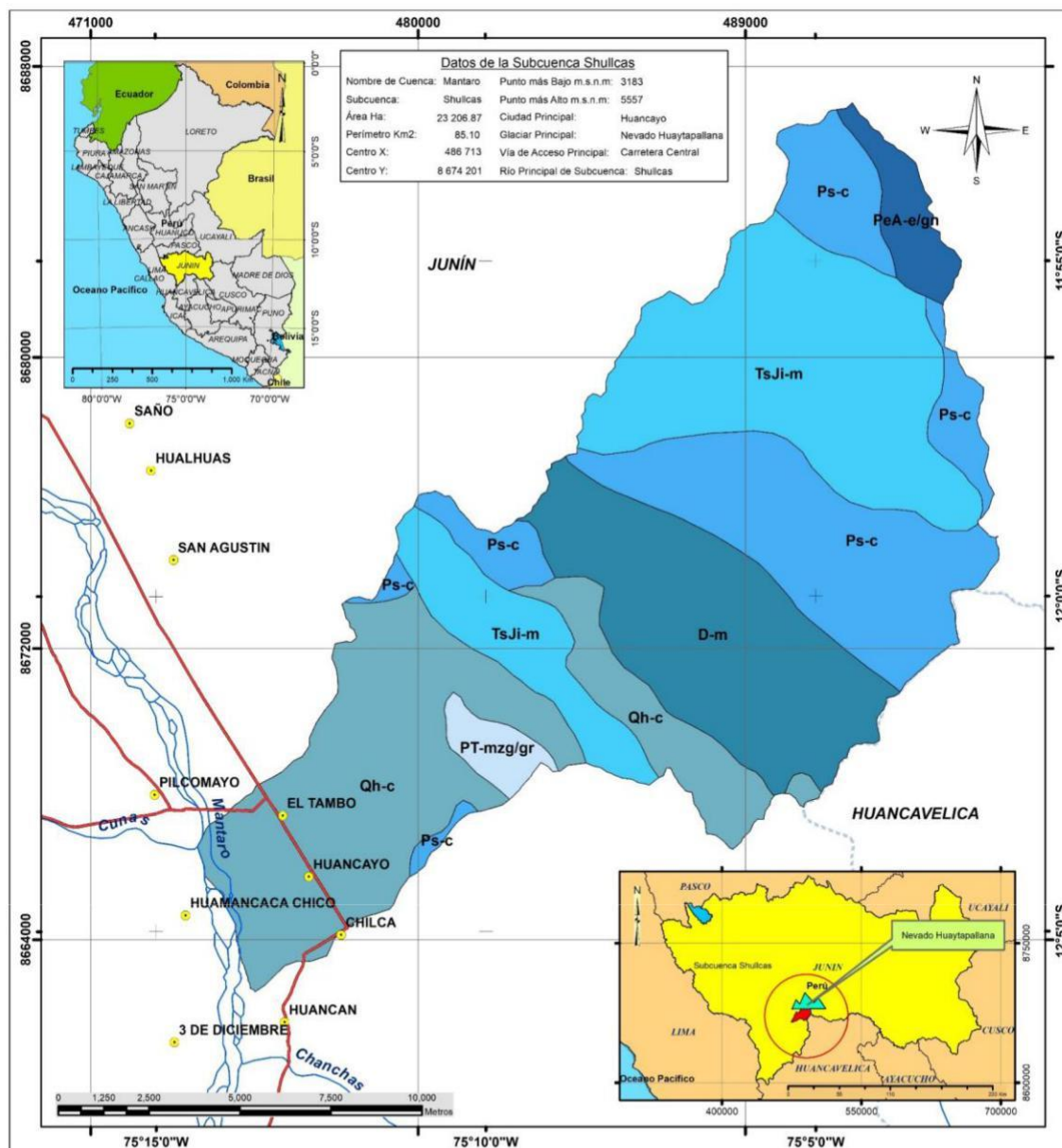
Mapa 8: Geología de la subcuenca Shullcas



Mapa 9: Fisiografía de la subcuenca Shullcas



Mapa 10: Hidrogeología de la subcuenca Shullcas



| CUADRO DE DESCRIPCIÓN DE MAPA HIDROGEOLOGICO DE LA SUBCUENCA SHULLCAS | | | | | | | |
|---|---------|-----------------------------------|---|--|--|-----------------|---------------|
| COLOR | SÍMBOLO | NOMBRE HIDROGEOLOGICO | MODELO | SUBMODELO | TIPO DE ROCA | ÁREA Ha | Por. % |
| Dm | | Devónico marino. | Formaciones consolidadas fósilíferas, incluye formaciones Karácicas | Acuíferos locales o discontinuos productivos, o acuíferos extensos pero solo moderadamente productivos (permeabilidad media) (No incluye la existencia en profundidad de otros acuíferos caudales y mas productivos) | Aerénicas, lutitas arenosas y conglomerados. | 4143.09 | 17.86 |
| PaA-e/gn | | Pleistocénico | Formaciones con acuíferos locales (devónicos o fósilíferos) o regiones sin agua subterránea con cantidad apreciable | Formaciones generalmente sin acuíferos (permeabilidad muy baja) | Pizarras | 600.21 | 2.80 |
| Ps-c | | Permiano superior continental | Formaciones consolidadas fósilíferas, incluye formaciones Karácicas | Acuíferos locales o discontinuos productivos, o acuíferos extensos pero solo moderadamente productivos (permeabilidad media) (No incluye la existencia en profundidad de otros acuíferos caudales y mas productivos) | Aerénicas, conglomerados | 5380.03 | 23.18 |
| PT-mzg/gr | | Plioceno Tardío/terciario | Formaciones con acuíferos locales (devónicos o fósilíferos) o regiones sin agua subterránea con cantidad apreciable | Formaciones generalmente sin acuíferos (permeabilidad muy baja) | Rocas intrusivas ácidas e intermedias | 415.66 | 1.79 |
| Qh-c | | Cuaternario holoceno-continental | Formaciones detriticas permeables en general no consolidadas | Acuíferos generalmente extensos, con productividad elevada (permeabilidad elevada) | Aluviales, arenas, gravas, arenas, lutitas, tra verticos | 6117.52 | 26.36 |
| TsJi-m | | Triásico Sup./Jurásico inf marino | Formaciones consolidadas fósilíferas, incluye formaciones Karácicas | Acuíferos generalmente extensos, con productividad elevada (permeabilidad elevada) | Calizas | 6497.97 | 28.00 |
| TOTAL | | | | | | 23206.87 | 100.00 |

LEYENDA

- Capital Distrito
- Via Nacional
- Río
- Dep. Huancavelica/Junin

GEORREFERENCIA

Datum Horizontal: WGS-84
 Proyeccion Transversal de Mercator
 Sistema de Coordenadas - UTM - Zona 18
 Cartas Nacionales Esc: 1 : 100 000 - IGN

UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL

Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo

Escuela de Ingeniería Ambiental

INTEGRACIÓN DE MODELOS NUMÉRICOS DEL RENDIMIENTO HÍDRICO Y ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL GLACIAR HUAYTAPALLANA EN LA SUBCUENCA SHULLCAS

Tesis: Hidrogeología de la Subcuenca Shullcas

Asesor: Dr. Ing. W. Gomez Lora

Departamento: Huancayo **Provincia:** Huancayo **Carta IGN:** Huancayo

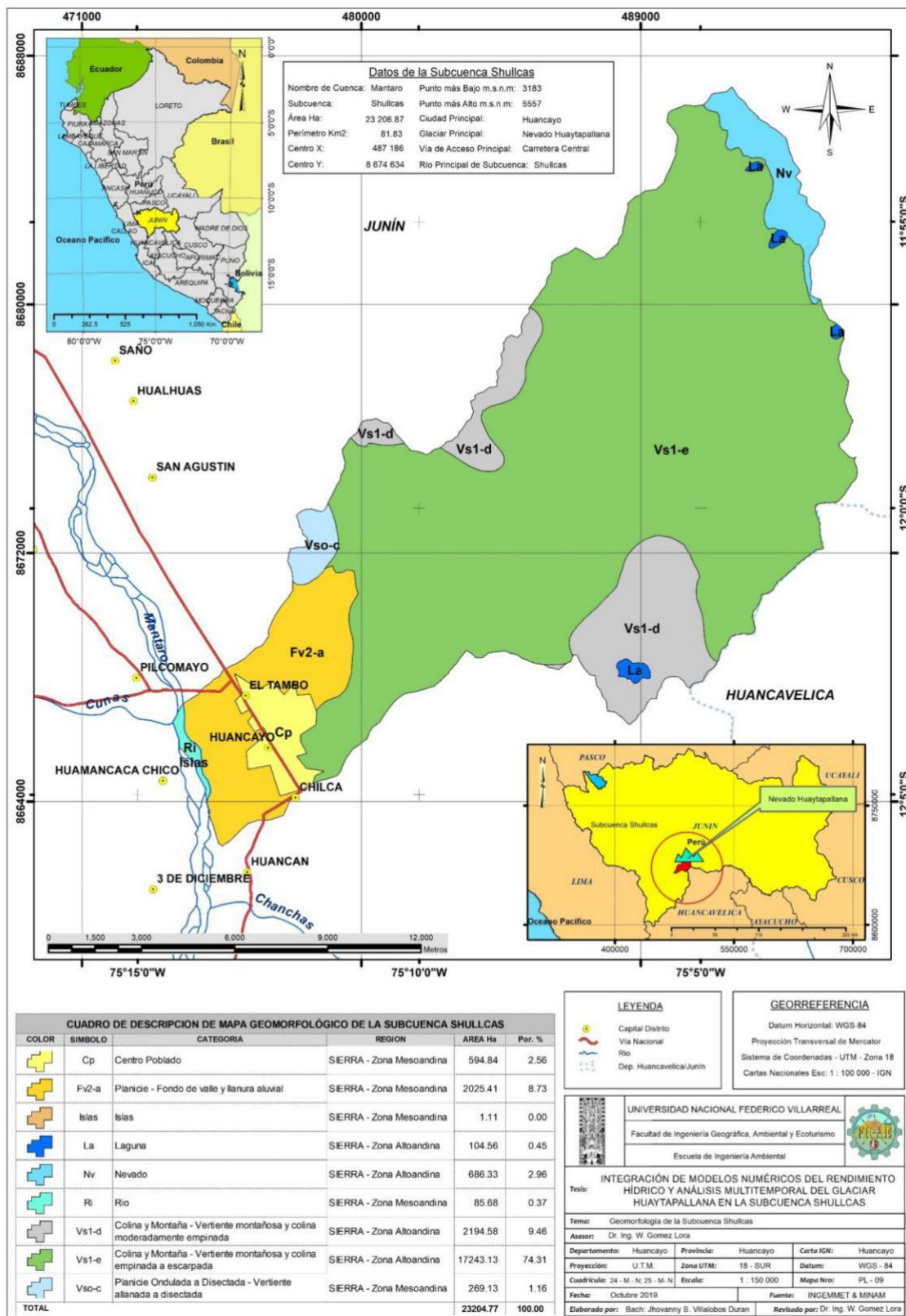
Proyección: UTM **Zona UTM:** 18 - SUR **Datum:** WGS - 84

Coordenadas: 24 - M - N, 25 - M - N **Escala:** 1 : 150 000 **Mapa Nro:** PL - 10

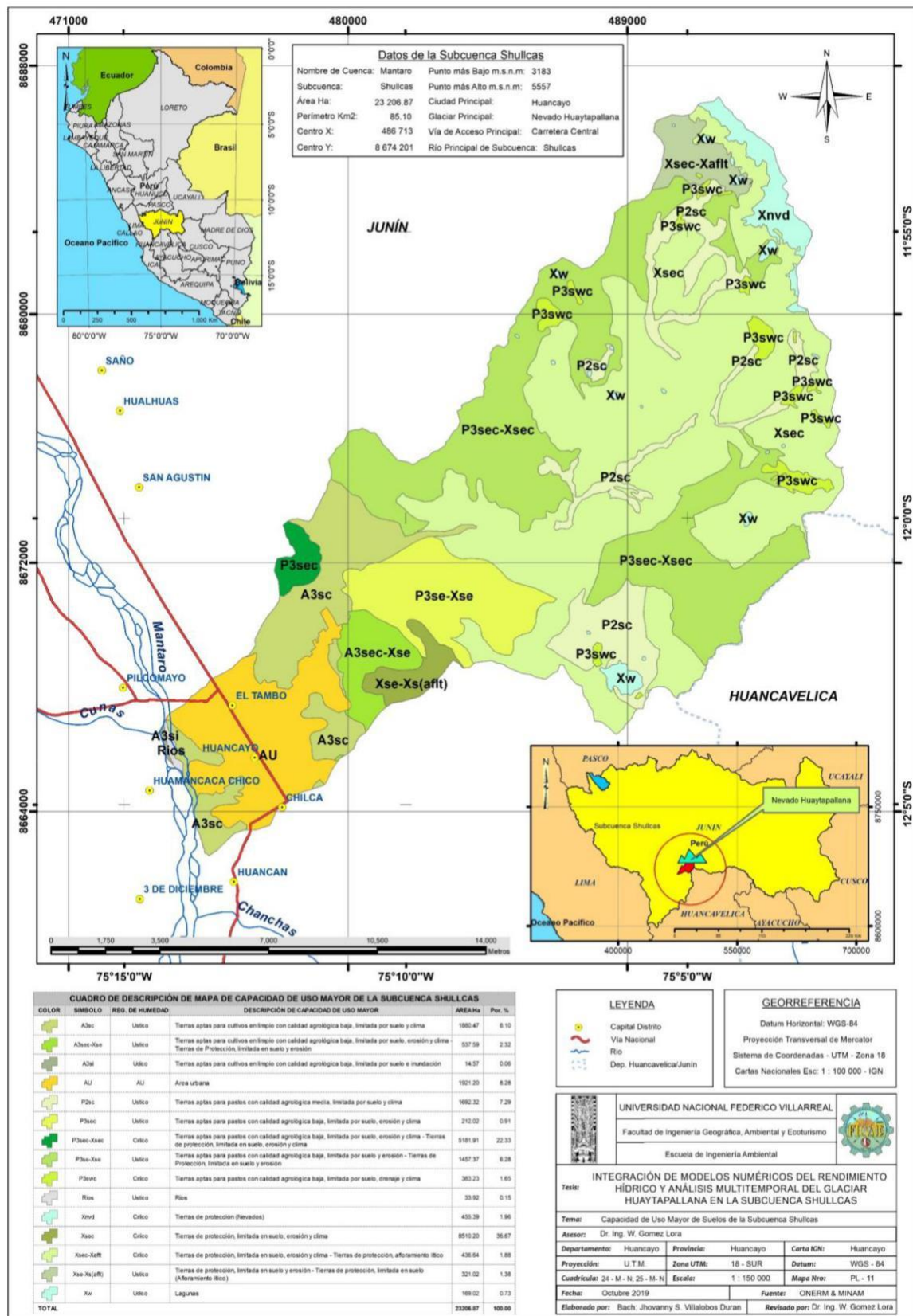
Fecha: Octubre 2019 **Fuente:** INGENMET & MINAM & ANA

Elaborado por: Bach. Jhovanny S. Villalobos Duran **Revisado por:** Dr. Ing. W. Gomez Lora

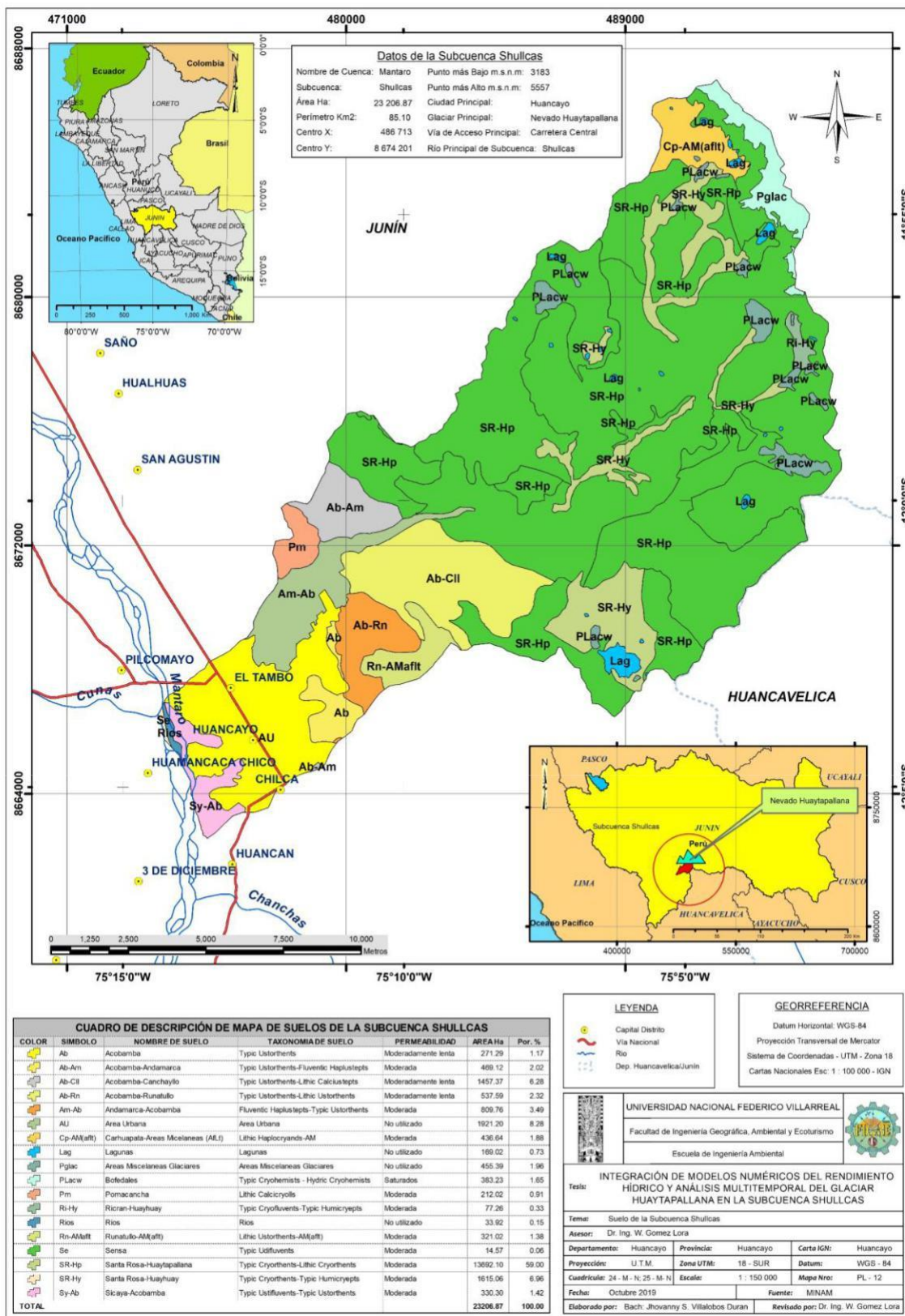
Mapa 11: Geomorfología de la subcuenca Shullcas



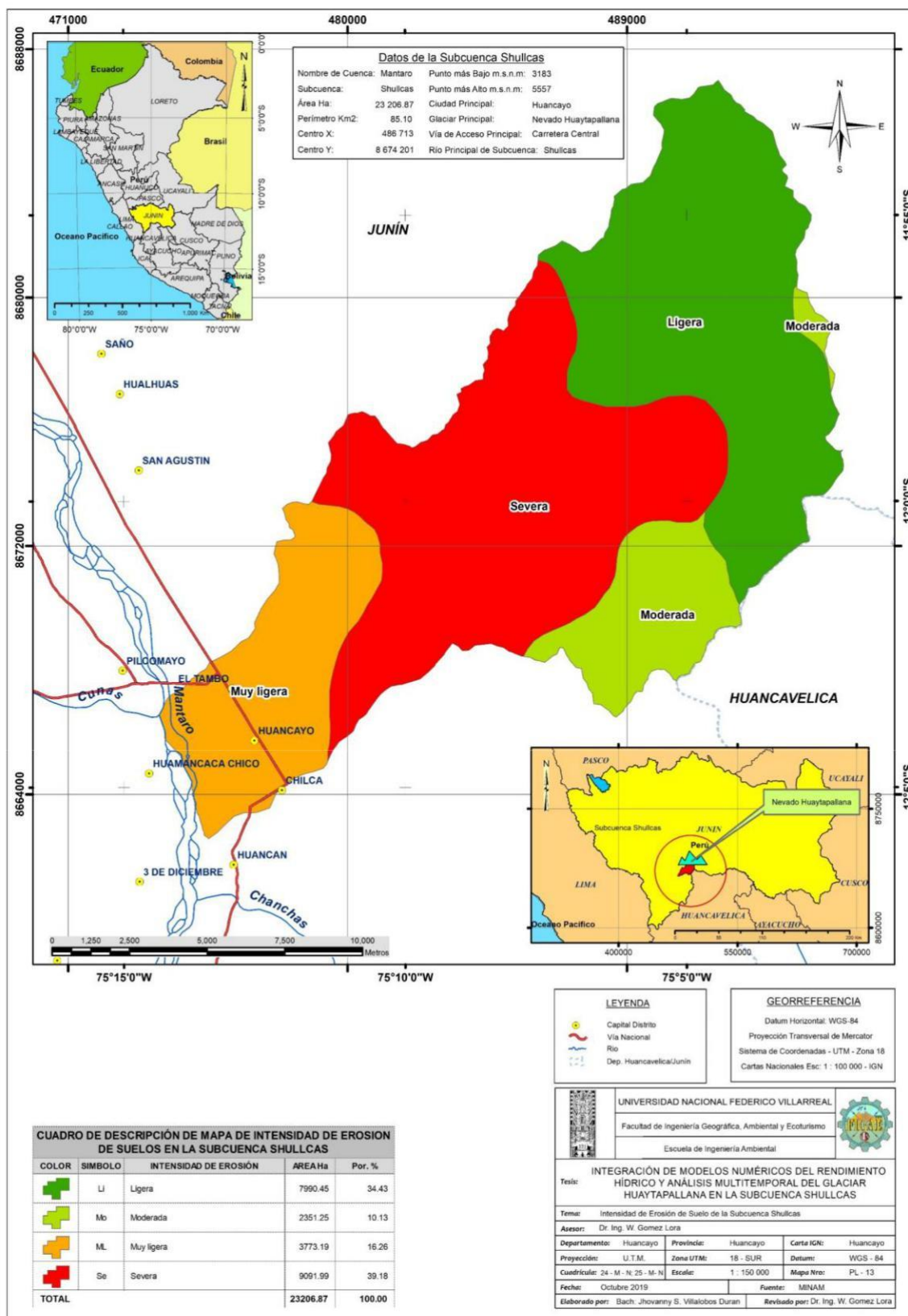
Mapa 12: Capacidad de uso mayor de suelo a de la subcuenca Shullcas



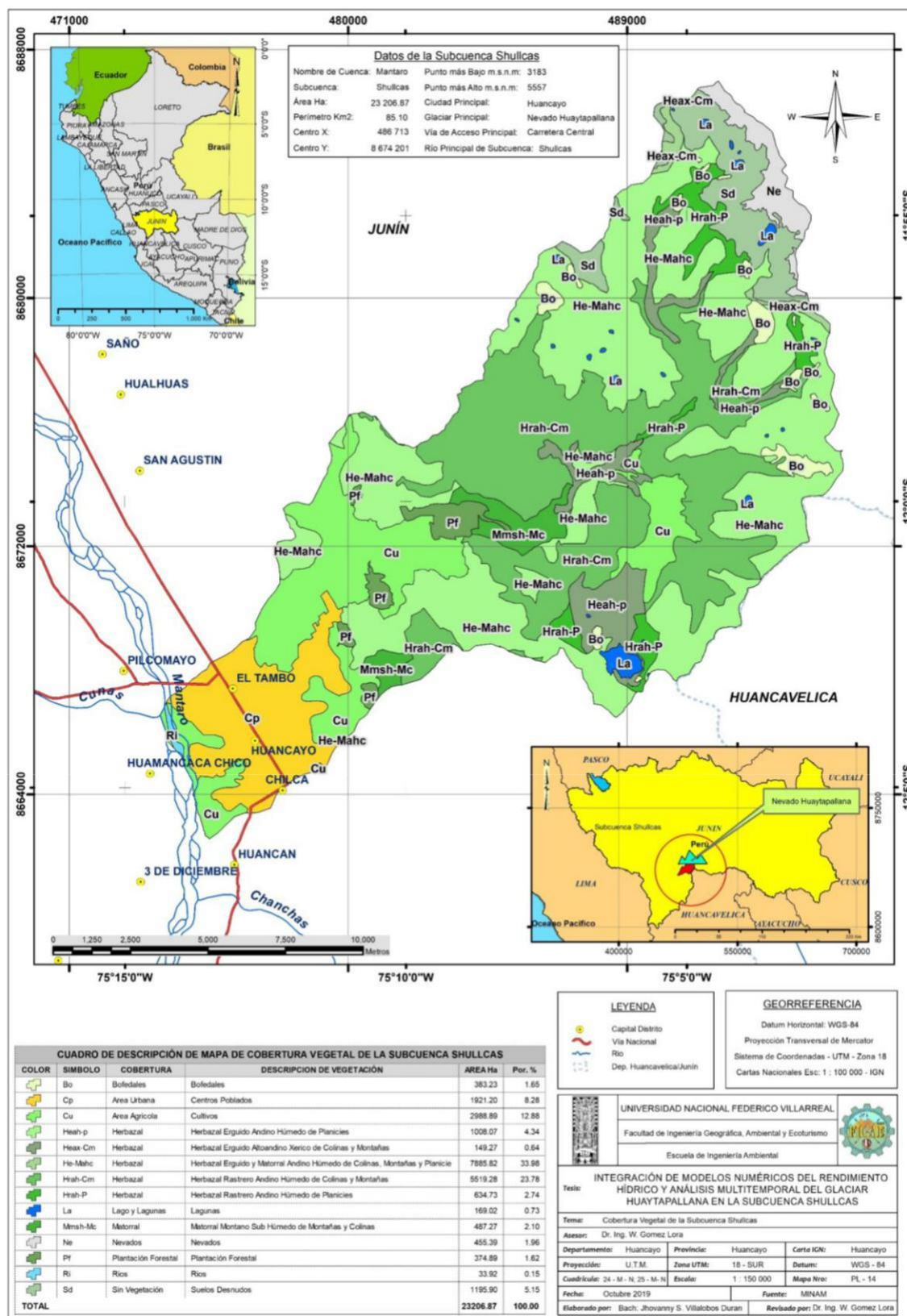
Mapa 13: Suelo de la subcuenca Shullcas



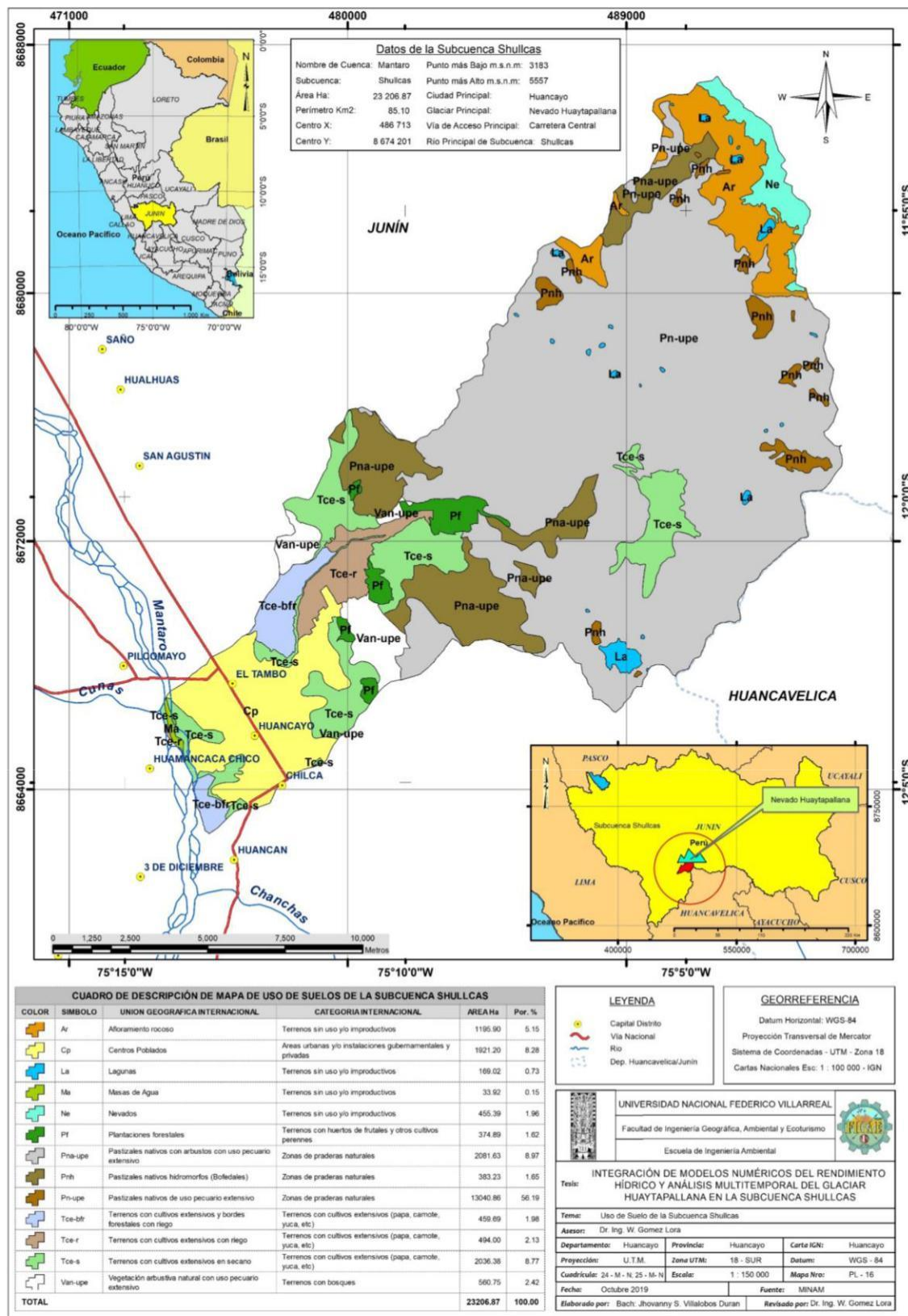
Mapa 14: Intensidad de erosión de suelo de la subcuenca Shullcas



Mapa 15: Cobertura vegetal de la subcuenca Shullcas



Mapa 16: Uso de suelo de la subcuenca Shullcas



Mapa 17: Zona de vida de la subcuenca Shullcas

