

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Trabajo de Investigación

**Determinación del caudal ecológico superficial  
mediante el método Q95% y Python en la sub cuenca  
del río Tulumayo – Chanchamayo 2020**

Kevin Abner Ortega Quispe

Para optar el Grado de  
Bachiller en Ingeniería Ambiental

Huancayo, 2020

## ÍNDICE GENERAL

PORTADA.....	i
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
ÍNDICE.....	iv
ÍNDICE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE CUADROS.....	x
RESÚMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
INTRODUCCIÓN.....	xiii
CAPITULO I .....	14
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO .....	14
1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	14
1.1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	14
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	20
1.2.1. PROBLEMA GENERAL .....	20
1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS.....	20
1.3. OBJETIVOS .....	20
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	20
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	20
1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA .....	21
1.4.1. JUSTIFICACIÓN AMBIENTAL .....	21
1.4.2. JUSTIFICACIÓN SOCIAL .....	22
1.4.3. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA .....	22
1.4.4. JUSTIFICACIÓN DE CONVENIENCIA.....	23
1.5. HIPÓTESIS Y DESCRIPCIÓN DE VARIABLES .....	24
1.5.1. HIPÓTESIS .....	24
1.5.1.1. Hipótesis General.....	24
1.5.1.2. Hipótesis General Nula.....	24
1.5.1.3. Hipótesis Especificas .....	24
1.5.1.4. Hipótesis Especificas Nulas .....	24
1.5.2. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....	25
CAPITULO II.....	26
MARCO TEÓRICO.....	26
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN .....	26
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES.....	26
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES.....	33

2.2.	BASES TEÓRICAS.....	36
2.2.1.	RECURSO HÍDRICO.....	36
2.2.1.1.	Ciclo Hidrológico .....	37
2.2.1.2.	PARÁMETROS HIDROLÓGICOS.....	38
2.2.1.2.1.	Precipitación .....	38
2.2.1.2.2.	Infiltración .....	39
2.2.1.2.3.	Evaporación .....	40
2.2.1.2.4.	Transpiración .....	40
2.2.1.2.5.	Temperatura.....	41
2.2.1.2.6.	Radiación Solar.....	42
2.2.2.	IMPORTANCIA DEL AGUA PARA EL ECOSISTEMA.....	42
2.2.3.	CUENCA HIDROGRÁFICA.....	43
2.2.3.1.	Partes Cuenca hidrográfica .....	44
2.2.3.2.	División Cuenca Hidrográfica .....	45
2.2.3.4.	Parámetros Morfométricos de Cuenca.....	48
2.2.3.5.	Manejo y Gestión de Cuencas Hidrográficas.....	52
2.2.4.	DEFINICIÓN CAUDAL ECOLÓGICO.....	55
2.2.4.1.	Requerimientos del Caudal Ecológico.....	56
2.2.4.2.	Régimen de Caudales Ecológicos.....	57
2.2.4.2.1.	Condiciones de los Caudales Ecológicos.....	57
2.2.5.	MÉTODOS USADOS PARA DETERMINACIÓN DEL CAUDAL ECOLÓGICO.....	58
2.2.5.1.	Metodología Hidrológica.....	59
2.2.5.1.1.	Método Q95%.....	61
2.2.5.2.	Metodología Hidrobiológica.....	61
2.2.5.3.	Metodología Hidráulica .....	63
2.2.5.4.	Metodología Holística.....	65
2.2.6.	ANÁLISIS DE CONSISTENCIA EN HIDROLOGÍA SUPERFICIAL.....	67
2.2.6.1.	Datos faltantes .....	67
2.2.6.2.	Análisis Gráfico .....	67
2.2.6.3.	Análisis de Doble Masa .....	68
2.2.6.4.	Tratamiento Estadístico .....	68
2.2.6.4.1.	Software SPSS 25 .....	69
2.2.7.	LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN.....	69
2.2.7.1.	Python 3.....	70
2.2.7.2.	Anaconda Software.....	71
2.3.	DEFINICIÓN DE TERMINOS BÁSICOS .....	72
	CAPITULO III.....	74
	METODOLOGÍA .....	74
3.1.	MÉTODO Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN .....	74
3.1.1.	MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....	74
3.1.2.	ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN .....	75
3.1.2.1.	Nivel de la Investigación .....	75
3.1.2.2.	Tipo de investigación.....	75
3.2.	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN .....	75
3.3.	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	76
3.3.1.	POBLACIÓN .....	76
3.3.2.	MUESTRA.....	76
3.4.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	77

3.4.1. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	77
3.4.2. INSTRUMENTOS.....	77
3.4.3. ANÁLISIS DE DATOS CONSISTENCIA .....	83
a) Análisis gráfico .....	83
c) Análisis de Doble Masa.....	88
CAPÍTULO IV.....	93
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	93
4.1. RESULTADOS DEL TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	93
4.1.1. DELIMITACIÓN DE LA SUB CUENCA DESCRIPCIÓN DE LA SUBCUENCA EN ESTUDIO.....	93
4.1.1.1. Descripción de la SubCuenca en Estudio .....	95
4.1.2 PARÁMETROS MORFOLOGICOS DE SUBCUENCA DEL TULUMAYO.....	97
4.1.2.1. Altitud de la Sub Cuenca.....	97
4.1.2.2. Red Hidrográfica de la Sub Cuenca .....	99
4.1.2.2.1. Número de Orden de la Sub Cuenca .....	99
4.1.2.2.2. Características Río Tulumayo .....	101
4.1.2.3. Área y Perímetro de la Sub Cuenca.....	102
4.1.2.4. Longitud del Río Principal .....	102
4.1.2.5. Centroide X, Y .....	103
4.1.2.6. Curvas Hipsométricas.....	103
4.1.2.7. Coeficiente de Compacidad.....	106
4.1.2.8. Factor de Forma.....	106
4.1.2.9. Pendientes de la Sub Cuenca.....	107
4.1.2.9.1. Pendiente Media de la Sub Cuenca .....	109
4.1.3. RESULTADOS DE CAUDAL ECOLÓGICO POR MÉTODO Q95% .....	109
4.1.4. RESULTADOS DE CAUDAL ECOLÓGICO POR PYTHON.....	116
4.1.5. CAUDAL ECOLÓGICO POR Q95% Y PYTHON 3 .....	118
4.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS.....	124
4.2.1. CONTRASTACIÓN HIPOTESIS GENERAL.....	124
4.2.2. CONTRASTACIÓN HIPÓTESIS ESPECÍFICA.....	125
4.2.2.1 Hipótesis Específica 1 .....	125
4.2.2.2. Hipotesis Especifica 2 .....	128
4.3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	129
CONCLUSIONES .....	133
RECOMENDACIONES .....	134
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	135
ANEXOS .....	139

## ÍNDICE TABLAS

<i>Tabla N° 01 Operacionalización de Variables.....</i>	25
<i>Tabla N° 02 Áreas de Referencia Cuenca Hidrográfica .....</i>	45
<i>Tabla N° 03 Características de la cuenca según Coeficiente de Compacidad.....</i>	49
<i>Tabla N° 04 Características de la cuenca según Factor de Forma .....</i>	50
<i>Tabla N° 05 Plantilla de Cálculo Caudal Ecológico Q95% .....</i>	79
<i>Tabla N° 06 Plantilla cálculo Cuartiles, Media, RI, VAL Chimay.....</i>	83
<i>Tabla N° 07 Plantilla calculo Cuartiles, Media, RI, VAL Monobamba .....</i>	86
<i>Tabla N° 08 Orden y Longitud de los Ríos de la Sub Cuenca Tulumayo .....</i>	99
<i>Tabla N° 09 Características del Río Tulumayo.....</i>	101
<i>Tabla N° 10 Área y Perímetro Río Tulumayo.....</i>	102
<i>Tabla N° 11 Longitud del Río Tulumayo .....</i>	102
<i>Tabla N° 12 Centroide X, Y Sub Cuenca Tulumayo .....</i>	103
<i>Tabla N° 13 Áreas entre Curvas de Nivel y Cota Mínima y Máxima .....</i>	104
<i>Tabla N° 14 Altitud Media de la Sub Cuenca Tulumayo.....</i>	105
<i>Tabla N° 15 Pendiente Media de la Sub Cuenca del Río Tulumayo .....</i>	109
<i>Tabla N° 16 Plantilla de Cálculo Caudal Ecológico Q95% - CHIMAY .....</i>	110
<i>Tabla N° 17 Determinación Caudal Ecológico Q95% Estación Chimay.....</i>	110
<i>Tabla N° 18 Plantilla de Cálculo Caudal Ecológico Q95% - MONOBAMBA .....</i>	112
<i>Tabla N° 19 Determinación Caudal Ecológico Q95% Estación Monobamba.....</i>	113
<i>Tabla N° 20 Determinación Caudal Ecológico Python 3 – Monobamba.....</i>	117
<i>Tabla N° 21 Comparación Regímenes de Determinación Caudal Ecológico - Chimay.....</i>	119
<i>Tabla N° 22 Comparación Regímenes de Determinación Caudal Ecológico - Monobamba.....</i>	122
<i>Tabla N° 23 Resultados Caudal Ecológico Sub Cuenca Río Tulumayo .....</i>	124
<i>Tabla N° 24 Prueba de normalidad de Shapiro – Wilk.....</i>	126
<i>Tabla N° 25 Prueba de Correlación de Pearson.....</i>	126
<i>Tabla N° 26 Ecuación de Correlación de Pearson .....</i>	127
<i>Tabla N° 27 Resúmen Parámetros e Información Morfométrica Sub Cuenca Tulumayo .....</i>	128

## ÍNDICE FIGURAS

<i>Figura N° 01</i>	<i>Ciclo Hidrológico</i>	37
<i>Figura N° 02</i>	<i>Partes de una Unidad Hidrográfica</i>	45
<i>Figura N° 03</i>	<i>División de Cuenca Hidrográfica</i>	46
<i>Figura N° 04</i>	<i>Características de Curva Hipsométrica</i>	52
<i>Figura N° 05</i>	<i>Sostenibilidad – Integración de tres Planos</i>	54
<i>Figura N° 06</i>	<i>Metodologías Calculo Caudal Ecológico existentes</i>	59
<i>Figura N° 07</i>	<i>Flujograma Procedimiento Generación Caudal Ecológico por Python 3</i>	80
<i>Figura N° 08</i>	<i>Flujograma Determinación de Parámetros Morfométricos de Cuenca</i>	82
<i>Figura N° 09</i>	<i>Diagrama de Cajas – Estación Chimay</i>	84
<i>Figura N° 10</i>	<i>Diagrama de Distribución caudales Medios Mensuales – Estación Chimay</i>	85
<i>Figura N° 11</i>	<i>Diagrama de Cajas – Estación Monobamba</i>	87
<i>Figura N° 12</i>	<i>Diagrama de Distribución caudales Medios Mensuales – Estación Monobamba</i>	88
<i>Figura N° 13</i>	<i>Diagrama Doble Masa Referido al Promedio</i>	89
<i>Figura N° 14</i>	<i>Diagrama Doble Masa Estación Chimay</i>	90
<i>Figura N° 15</i>	<i>Hidrograma Series Históricas – Estación Chimay</i>	90
<i>Figura N° 16</i>	<i>Diagrama Doble Masa Estación Monobamba</i>	91
<i>Figura N° 17</i>	<i>Hidrograma Series Históricas – Estación Monobamba</i>	92
<i>Figura N° 18</i>	<i>Mapa Delimitación de la Sub Cuenca del Río Tulumayo</i>	94
<i>Figura N° 19</i>	<i>Modelamiento 3D de la Sub Cuenca del Río Tulumayo</i>	95
<i>Figura N° 20</i>	<i>Mapa de la Sub Cuenca del Río Tulumayo</i>	96
<i>Figura N° 21</i>	<i>Mapa Altitudinal de la Sub Cuenca del Río Tulumayo</i>	98
<i>Figura N° 22</i>	<i>Mapa Red Hidrográfica y Orden de Ríos de la Sub Cuenca del Río Tulumayo</i>	100
<i>Figura N° 23</i>	<i>Mapa Recorrido del Río Tulumayo</i>	101
<i>Figura N° 24</i>	<i>Curva Hipsométrica Sub Cuenca Tulumayo</i>	105
<i>Figura N° 25</i>	<i>Polígono de Frecuencia de Altitudes</i>	105
<i>Figura N° 26</i>	<i>Mapa de Pendientes de la Sub Cuenca del Río Tulumayo</i>	108
<i>Figura N° 27</i>	<i>Hidrograma Caudal Ecológico Q95% - Chimay</i>	111
<i>Figura N° 28</i>	<i>Hidrograma Caudal Ecológico Q95% - Monobamba</i>	113
<i>Figura N° 29</i>	<i>Hidrograma Caudal Ecológico Q95% - Chimay/Monobamba</i>	115
<i>Figura N° 30</i>	<i>Hidrograma Caudal Ecológico Python 3 al 5% Percentil - Chimay</i>	117
<i>Figura N° 31</i>	<i>Hidrograma Caudal Ecológico Python 3 al 5% Percentil - Monobamba</i>	118
<i>Figura N° 32</i>	<i>Hidrograma Caudal Ecológico Q95% y Python 3 – CH Chimay</i>	119
<i>Figura N° 33</i>	<i>Diagrama de Barras Caudal Ecológico Q95% y Python 3 – CH Chimay</i>	121
<i>Figura N° 34</i>	<i>Hidrograma Caudal Ecológico Q95% y Python 3 – CH Monobamba</i>	122
<i>Figura N° 35</i>	<i>Diagrama de Barras Caudal Ecológico Q95% y Python 3 – CH Monobamba</i>	123

## RESUMEN

La determinación del caudal Ecológico es sin duda una herramienta necesaria para mantener y cuidar los ecosistemas ecológicos a partir de poder conocer el caudal mínimo que debe transcurrir en un cuerpo de agua con el cual se pueda mantener la vida de especies y actividades económicas que dependen directamente de este recurso. En la sub cuenca del Río Tulumayo existen actividades económicas desarrolladas por empresas del sector energético y minero, los cuales reducen estos cauces alterando los ecosistemas, generando migración, pérdida de especies y reduciendo actividades económicas de pequeñas poblaciones nativas que dependen del río para su supervivencia.

Por lo tanto el presente trabajo de investigación se realizó con el objetivo principal de determinar estos caudales mínimos necesarios en la sub cuenca del Río Tulumayo que sirvan para proteger y cuidar los ecosistemas ecológicos, para ello se empleó la técnica Q95% o 95% de persistencia, una metodología hidrológica empleada y recomendada por la ANA ( Autoridad Nacional del Agua) y además se elaboró los códigos y traducción a lenguaje de programación de esta metodología en Python 3 para poder automatizar los resultados y puedan ser replicados a otros ríos a nivel nacional.

El procedimiento se inició tras la elaboración del estudio de la sub cuenca la que condujo a la obtención de sus parámetros Morfométricos, así mismo se realizó la validación de la data histórica de caudales mensuales cedida por el COES ( Comisión de Operación Económica del Sistema interconectado Nacional) y por la minera SIMSA (San Ignacio de Morococha) sobre las Centrales Hidroeléctricas Chimay y Monobamba, esta validación requirió de un Análisis Gráfico y de un Análisis de Consistencia constatando una data completa y sin saltos ni quiebres, las cuales luego fueron procesadas según los procedimientos descritos en la RJ 098-2016 ANA, obteniendo un rango de valores de 23.21 m<sup>3</sup>/s para Agosto como valor mínimo, hasta 128.98 m<sup>3</sup>/s en Febrero como valor máximo para el punto en la CH Chimay, y en un rango de 10.564 m<sup>3</sup>/s en Julio como valor mínimo hasta 124.74 m<sup>3</sup>/s en Marzo en el punto de la CH Monobamba y los valores obtenidos por Python 3 fueron los mismos al del Q95%, comprobándose esto último por métodos estadísticos y correlación de Pearson, concluyendo que existe una igualdad significativa y relación directa positiva entre los métodos objeto de estudio, y que los métodos hidrológicos carecen de variables biológicas u holísticas que puedan mejorar y estimar de mejor manera los caudales ecológicos.

**Palabras Clave: Caudal Ecológico ; Ecosistema Ecológico ; Río Tulumayo ; Python 3.**

## ABSTRACT

The determination of the ecological flow is undoubtedly a necessary tool to maintain and care for ecological ecosystems based on knowing the minimum flow that must pass in a body of water with which the life of the species and economic activities that depend on can be maintained. directly from this resource. In the Tulumayo River sub basin there are economic activities carried out by companies in the energy and mining sector, which reduce these channels, altering ecosystems, generating migration, loss of species, and reducing economic activities of small native populations that depend on the river for their survival.

Therefore, the present research work was carried out with the main objective of determining these specifically necessary flows in the Tulumayo River basin that serve to protect and care for ecological ecosystems, for which the Q95% or 95% persistence technique was used, a hydrological methodology used and recommended by the ANA and the codes and the translation of the programming language of this methodology in Python 3 were developed to automate the results and can be replicated to other rivers to Nacional level.

The procedure was updated after the study of the sub-basin, which led to the obtaining of its morphometric parameters, as well as the validation of the historical data on monthly flows provided by the COES (Commission for Economic Operation of the National Interconnected System), and by the mining company SIMSA (San Ignacio de Morococha) on the Chimay CH Monobamba Hydroelectric Power Plants, this validation required a Graphic Analysis and a Consistency Analysis, verifying complete information and without jumps or breaks, which were then processed according to the procedures obtained in the RJ 098-2016 ANA, obtaining a range of values being these of 23.21 m<sup>3</sup>/s for August as a minimum value, up to 128.98 m<sup>3</sup>/s in February as the maximum value for the point in the CH Chimay, and in a range of 10.564 m<sup>3</sup>/s in July as a minimum value to 124.74 m<sup>3</sup>/s in March at the point of CH Monobamba and the values affected by Python 3 were the same as Q95%, checking the latter by statistical methods and Pearson's correlation, concluding that there is a significant equality and positive direct relationship between the methods under study, and hydrological methods lack biological or holistic variables that can improve and estimate better ecological flow rates.

**Key Words: Ecological Flow; Ecological Ecosystem; Tulumayo River; Python 3.**