



POSGRADOS

MAESTRÍA EN

SISTEMAS HIDRÁULICOS URBANOS DE ABASTECIMIENTO Y PROTECCIÓN

RPC-SO-24-NO.381-2022

OPCIÓN DE TITULACIÓN:

PROYECTO DE TITULACIÓN CON
COMPONENTES DE INVESTIGACIÓN
APLICADA Y/O DE DESARROLLO

TEMA:

EVALUACIÓN DEL CAUDAL
ECOLÓGICO Y SU RELACIÓN CON
LAS VARIACIONES HIDROLÓGICAS
EN EL CURSO INFERIOR DEL RÍO
GUAYLLABAMBA CON LA REPRESA
HIDROELÉCTRICA MANDURIACU

AUTOR

DENNISSE PAOLA CRIOLLO SANDOVAL

DIRECTOR:

VERÓNICA VALERIA YÉPEZ MARTÍNEZ

QUITO – ECUADOR

2024



Autora:



Dennisse Paola Criollo Sandoval
Ingeniera Civil
Candidata a Magíster en Sistemas Hidráulicos Urbanos de
Abastecimiento y Protección Por la Universidad Politécnica
Salesiana – Sede Quito.
dennissepaola0619@gmail.com

Dirigido por:



Verónica Valeria Yépez Martínez
Ingeniera Civil
Magíster en Recursos Hídricos con Mención en Diseño de Proyectos
Hidráulicos
vyepez@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS

2024 © Universidad Politécnica Salesiana.

QUITO– ECUADOR – SUDAMÉRICA

Dennisse Paola Criollo Sandoval

***EVALUACIÓN DEL CAUDAL ECOLÓGICO Y SU RELACIÓN CON LAS VARIACIONES
HIDROLÓGICAS EN EL CURSO INFERIOR DEL RÍO GUAYLLBAMBA CON LA REPRESA
HIDROELÉCTRICA MANDURIACU***

DEDICATORIA

Tengo la fiel creencia de que una persona debe siempre estar en un continuo aprendizaje, por lo que a fin de mantener firmes mis convicciones decidí emprender este nuevo reto educativo y cuyo resultado final es mi proyecto investigativo; el cual, deseo dedicar a Dios, por ser la luz en cada paso que doy en la vida, a mis abuelitos Juanita y Lucho, que a pesar de ya no poder estar presentes me brindan su bendición y especialmente a mis padres por ser mi apoyo incondicional en cada una de mis decisiones y metas propuestas.

AGRADECIMIENTO

Para poder desarrollar este proyecto de titulación tuve el apoyo de diferentes personas y entidades, sin ellos no se hubiera llegado a la meta propuesta, por lo que, es indispensable retribuir su contribución agradecidamente.

Deseo empezar agradeciendo a Dios por darme la vida, salud y la oportunidad de estudiar nuevamente, a la Universidad Politécnica Salesiana por ser el ente que mediante sus educadores supo capacitarme e impartirme nuevos conocimientos de manera didáctica y desafiante; además, de brindarme herramientas innovadoras y útiles para desarrollar en mi carrera profesional, agradecer a la institución CELEC por facilitarme la información para poder desarrollar mi proyecto investigativo, a mis padres y hermano por ser mi motor e inspiración, en especial a ti mamá por impulsarme a cumplir nuevos retos, a mis abuelitos por su apoyo incondicional al contarles la idea de volver a estudiar, a mis antiguos y nuevos compañeros de universidad que me tendieron la mano para encontrar datos necesarios para desarrollar mi investigación y a Juan Pablo por ser mi compañero durante esta aventura y brindarme su apoyo incondicional durante cada etapa de este proyecto formativo.

TABLA DE CONTENIDO

Resumen	8
Abstract.....	9
1. Introducción.....	10
2. Determinación del Problema.....	13
3. Objetivo	15
4. Marco teórico referencial.....	16
4.1. Caracterización física – Geográfica de una cuenca.....	16
4.2. Caudal ecológico	20
4.2.1. Definición.....	20
4.2.2. Marco legal en Ecuador	20
4.2.3. Índice de calidad del agua (ICA).....	22
4.2.4. Medidas para minimizar impactos ambientales en el cuerpo hídrico	22
4.2.5. Métodos de cálculo	22
4.2.6. Método ecuatoriano.....	24
4.3. Calidad del agua en un río	25
4.3.1. Indicadores de calidad.....	26
5. Materiales y metodología.....	27
5.1. Área de estudio.....	27
5.1.1. Ubicación político administrativo.....	27
5.1.2. Infraestructura influyente en la delimitación territorial	29
5.2. Metodología.....	37
5.2.1. Caracterización morfológica de la cuenca.....	38
5.2.2. Estaciones meteorológicas	46
5.2.3. Precipitación y temperatura media de la cuenca.....	51
5.2.4. Caudal Hidrológico.....	53
5.2.5. Caudal Hidráulico.....	57
5.2.6. Caudal Ecológico.....	67
5.2.7. Calidad de agua sección BM-9.....	70
5.2.8. Balance hídrico	71
6. Resultados y discusión.....	71

6.1.	Zona de estudio y sus características morfológicas.....	71
6.2.	Información meteorológica	79
6.2.1.	Precipitación media de la cuenca.....	80
6.2.2.	Temperatura media de la cuenca.....	81
6.3.	Caudal simulado mediante modelamiento GR2M	82
6.4.	Caudal hidráulico de descarga	84
6.5.	Evaluación caudal ecológico de la cuenca	85
6.5.1.	Método de hoppe.....	89
6.5.2.	Método de tennant	90
6.5.3.	Método 7Q10	91
6.5.4.	Método perímetro mojado	92
6.5.5.	Método ecuatoriano.....	93
6.6.	Evaluación calidad de agua punto de descarga	94
6.7.	Balance hídrico de la cuenca definida	98
7.	Conclusiones.....	98
	Referencias	102
	Anexos	106

EVALUACIÓN DEL
CAUDAL ECOLÓGICO Y
SU RELACIÓN CON LAS
VARIACIONES
HIDROLÓGICAS EN EL
CURSO INFERIOR DEL
RÍO GUAYLLABAMBA
CON LA REPRESA
HIDROELÉCTRICA
MANDURIACU

AUTORA:

DENNISSE PAOLA CRIOLLO SANDOVAL

RESUMEN

El estudio aborda un análisis hidrológico e hidráulico de la cuenca del río Guayllabamba enmarcada hasta la Central Hidroeléctrica Manduriacu a fin de determinar el caudal característico en ambos sentidos del análisis, mediante estos resultados se determina el caudal ecológico correspondiente al área de interés, estableciendo entonces las variaciones hidrológicas existentes aguas abajo de la presa. Para el desenvolvimiento de este proyecto investigativo es preciso recopilar información de variables meteorológicas como precipitación, temperatura y caudales de series diarias, mensuales y anuales; así como, datos en campo de las secciones de interés tales como: topografía, profundidad de agua, medidas limnimétricas, velocidades y tomas de muestra de agua; con base a estos datos mediante modelación hidrológica GR2M y simulación en HEC-RAS se tiene resultados de caudales de la hoya. A partir de este punto se define el caudal ecológico mediante la metodología de Hoppe, Tennant, 7Q10, Perímetro mojado y método ecuatoriano; se considera que el valor de Hoppe de 212,28 m³/s es el resultado más óptimo, puesto que este valor cumple con lo requerido en las otras metodologías y permite un adecuado desenvolvimiento del ecosistema acuático; además se complementa con un análisis de calidad del agua en el tramo de descarga y un balance hídrico a una multi escala espacial con temporalidad anual. El estudio utiliza como herramientas auxiliares scripts de lenguaje R-Studio y softwares de sistemas de información geográfica como Q-Gis y ArcGIS.

La represa Manduriacu implica un obstáculo para las especies acuáticas y tanto su funcionamiento como mantenimiento afecta de manera negativa a las zonas aledañas; maneja un caudal de 210 m³/s, valor que conforme datos del año más caluroso desde 1900, año 2015 solo cumple los meses de febrero hasta mayo y bajo un panorama general con respecto al caudal ecológico propuesto se tiene una pérdida de 2,28 m³/s.

Palabras clave:

Cauce; caudal hidrológico; caudal hidráulico; central hidroeléctrica

ABSTRACT

The study addresses a hydrological and hydraulic analysis of the Guayllabamba River basin up to the Manduriacu Hydroelectric Plant to determine the characteristic flow in both directions of the analysis. Based on these results, the ecological flow corresponding to the area of interest is determined, establishing the existing hydrological variations downstream of the dam.

For the development of this investigative project, it is necessary to collect information on meteorological variables such as precipitation, temperature, and flow rates from daily, monthly, and annual series; as well as field data from the sections of interest such as: topography, water depth, limnimetric measurements, velocities, and water sampling. Based on these data, hydrological modeling (GR2M) and simulation in HEC-RAS provide results for basin flows. From this point, the ecological flow is defined using the methodologies of Hoppe, Tennant, 7Q10, Wet Perimeter, and the Ecuadorian method; it is considered that methodology of Hoppe equal $212.28 \text{ m}^3/\text{s}$ is the optimal result, as this value meets the requirements of the other methodologies and allows for the proper development of the aquatic ecosystem. Additionally, it is complemented by a water quality analysis in the discharge section and a hydrological balance on a multi-spatial scale with annual temporality. The study, auxiliary tools such as R-Studio scripts and geographic information system software like Q-Gis and ArcGIS are used.

The dam poses an obstacle to the passage of aquatic species, and both its operation and maintenance negatively affect the surrounding areas; it manages a flow of $210 \text{ m}^3/\text{s}$, a value that according to the hottest year since 1900, year 2015 data is only met from February to May and overall, with respect to the proposed ecological flow, there is a loss of $2.28 \text{ m}^3/\text{s}$.

Keywords:

Channel; hydrological flow; hydraulic flow; hydroelectric plant

1. INTRODUCCIÓN

El continuo crecimiento y desarrollo del país crea necesidades que se desean solventar, una de ellas es el sistema eléctrico, por lo cual, el Consejo Nacional de Planificación (CNP) mediante el Plan Maestro de Electricidad (PME) realizó un programa alineado al Plan Nacional de Desarrollo 2017 – 2021 – “*Toda una vida*”, en donde su principal objetivo era la ejecución de obras de gran trascendencia para resolver esta necesidad. Dentro de esta política se encuentra el Plan Hidroeléctrico Manduriacu, situado a manera macro en las provincias de Pichincha e Imbabura entre las parroquias Pacto y García Moreno pertenecientes al cantón Quito y Cotacachi respectivamente (Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2017).

La Central hidroeléctrica Manduriacu es una obra civil que genera entre 60 a 65 megavatios (MW) a través de dos unidades de generación con turbinas Kaplan. Ubicada en la unidad hidrográfica Guayllabamba bajo, capta el agua de este río mediante una presa de hormigón compactado de altura sobre el nivel del río igual a 40 metros y con una longitud total de 245 metros. Presenta un volumen de llenado máximo igual a 10.2 hectómetros cúbicos (Hm³) y su coronación alcanza una elevación de 495 msnm (CELEC EP (Corporación Eléctrica del Ecuador), 2015) .

Sin embargo, a pesar de que Manduriacu es un proyecto de gran envergadura y genera beneficios para el desarrollo del país, como toda obra civil provoca directa e indirectamente alteraciones en el medio ambiente, sobre todo en un radio de influencia de 10 kilómetros (Tasipanta, 2019). Al ser considerada una obra de ámbito hidroeléctrico aparte de la alteración generada por la construcción, causa importantes variaciones tanto de los parámetros hidrológicos como hidráulicos del sistema hídrico de la cuenca de captación; por lo cual, a medida que pasa el tiempo, surge la necesidad de determinar las respuestas ecológicas consecuentes por esta mega construcción.

Dentro de los parámetros a evaluar como parte analítica global del proceso de uso de los recursos hídricos se tiene el desarrollo del caudal ecológico, se hace énfasis en este concepto, puesto que, el mismo fue introducido al país con el fin de regular y aminorar la afectación ambiental de las centrales hidroeléctricas (Arias, 2012). Entendiéndose según (Claudio S. M. Consuegra Martínez, 2013) como caudal ecológico al valor mínimo requerido para mantener los rangos adecuados de los parámetros ecológicos del río; siendo fundamental conservar el medio natural de flora y fauna, permitir disolver los contaminantes, mantener una constante en el ámbito climatológico e hidrológico y facultar el uso del recurso para actividades de asentamiento humano. Además, se evidencia que con el transcurso del tiempo tanto en el marco legal como conceptual el tema ha ido evolucionando en el Ecuador, por lo que, actualmente se considera la particular del caudal ecológico de una cuenca hidrográfica como una evaluación exhaustiva que contempla la caracterización de los ríos conforme sus particularidades hidrológicas, implica el continuo monitoreo de bioindicadores e implementa la correlación con el entorno socio- económico (Arias, 2012).

Considerando esto se tiene entonces, que el caudal ecológico es un parámetro válido para realizar un análisis exhaustivo sobre las afectaciones ecológicas que puede existir en el hábitat de una cuenca causadas por las diferentes modificaciones hidrológicas del mismo. Este factor puede ser analizado mediante un enfoque hidrológico, hidráulico, hidrobiológico y holístico (Delgado et al., 2020a).

En la actualidad se puede encontrar un sin número de investigaciones relacionadas a las mega construcciones eléctricas del país, entre estas, la Central Hidroeléctrica Manduriacu; sin embargo, todas están orientadas hacia la generación de electricidad, costo de la obra (Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2017) y fichas informativas del proyecto (CELEC EP (Corporación Eléctrica del Ecuador), 2015). De igual manera se puede hallar estudios hidrológicos sobre la cuenca del Río Guayllabamba (Orellana, 2015), pero en estos se evidencia que durante sus análisis no abordan temas de impacto ambiental específicamente,

ni hacen referencia a las repercusiones que la contaminación y la infraestructura de la Central Hidroeléctrica Manduriacu causan aguas abajo de la cuenca.

Entonces, es así que, resulta fundamental conocer más allá de las ventajas eléctricas, las afectaciones que trae consigo una obra de gran envergadura como es la Central Hidroeléctrica Manduriacu en la cuenca hidrográfica de captación (unidad hidrográfica Guayllabamba bajo); esta evaluación se puede obtener a través del caudal ecológico analizado con fines de estudio mediante un enfoque netamente hidráulico e hidrológico y cuyo resultado pretende concluir las respuestas ecológicas presentes en el radio de influencia de la obra.

2. DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA

El Ecuador posee un sistema hídrico potencial y abundante con un volumen de recursos hídricos a nivel nacional hasta el año 2016 de 376,0 km³ (SENAGUA, 2016); sin embargo, a causa de satisfacer las necesidades de los habitantes y permitir el desarrollo del país, se ha venido llevando a cabo diferentes obras destinadas a múltiples actividades como por ejemplo: riego, electricidad, transporte, captación y distribución de agua, etc.; lo que ha provocado la fragmentación de la continuidad de los ríos tanto longitudinal como verticalmente y a su vez han causado graves efectos en el ecosistema hídrico. Según (Encalada, 2010), a causa de las transformaciones y alteraciones en la morfología de los ríos estos han dejado de realizar su autodepuración, filtración y limpieza; acarreado problemas de inundación, sequías y pérdidas de ecosistemas.

Una de las principales demandas del país es el desarrollo del sistema eléctrico, por lo que, a nivel nacional se han implantado estructuras especiales que garanticen este fin, mismas que para su funcionamiento requieren alterar el régimen y dinamismo de caudales del río de captación, creando condiciones de hábitat diferentes; bajo este concepto el Ecuador a fin de contrarrestar los efectos provocados por las mega construcciones toma la iniciativa de incorporar dentro de su legislación una propuesta de ley de aguas la cual se basa en el concepto de “caudal ecológico”, con respecto a este tema conforme (Encalada, 2010), la propuesta de ley revela una confusión fundamental que limita la aplicación del concepto de caudal ecológico para el manejo de los ecosistemas acuáticos en el país.

Considerada como mega construcción destinada al enfoque de desarrollo eléctrico del país se tiene a la Central Hidroeléctrica Manduriacu, la cual, si bien genera entre 60 a 65 megavatios (MW) (CELEC EP (Corporación Eléctrica del Ecuador), 2015), para poder llegar a este resultado debe captar agua de la parte baja del río Guayllabamba, provocando una alteración en el régimen natural del mismo. No

obstante, a pesar del nivel de importancia de esta obra civil para el desarrollo del país no se encuentra resultados sobre alguna evaluación ecológica realizada conforme la normativa del país respecto a las variaciones hidrológicas que esta estructura puede acarrear al recurso hídrico de captación. Según (Tasipanta, 2019) la Central Hidroeléctrica Manduriacu debido a la necesidad de espacio para la ubicación de su obra civil, su funcionamiento y el mantenimiento continuo a sus diferentes elementos acarrea consigo un radio influencia directa de aproximadamente 10 kilómetros, siendo 3 las comunidades más afectadas, localizadas entre la provincia de Imbabura y Pichincha. Los principales elementos que destacan son la presa, el embalse, la central hidroeléctrica, riberas de generación de electricidad y sistema de canalización.

A propósito de lo expuesto se contempla la importancia de desarrollar un trabajo investigativo y de evaluación sobre las afectaciones hidrológicas que provoca la presa Manduriacu en el río Guayllabamba mediante el cálculo del caudal ecológico, que si bien tal vez hasta la actualidad se describe tanto en la Constitución como en la iniciativa de ley de aguas del país de manera ambigua y en ciertos casos hasta contradictoria, resulta ser un concepto que bien aplicado permite determinar la cantidad, calidad y régimen de caudal necesario para sostener a los ecosistemas acuáticos; así como, los servicios y bienes de ecosistemas de los cuales depende la sociedad humana(Encalada, 2010).

En base a los resultados de este trabajo investigativo se puede llegar a tener dos escenarios, el primero en el cual la presa provoca importantes variaciones hidrológicas en el curso inferior del río Guayllabamba y el segundo en que el diseño propuesto para la presa sea tal que no genere alteraciones en el régimen del río; en ambas situaciones se presume alcanzar una gran contribución, puesto que, de darse el primer panorama las entidades gerenciales de la Central Hidroeléctrica Manduriacú pueden tomar las medidas respectivas para disminuir estas alteraciones del río y de presentarse el segundo panorama se tendrá una base metodológica de análisis para determinar la afectación ecológica en otras cuencas hidrográficas.

3.OBJETIVO

Objetivo General

Definir el caudal ecológico del Río Guayllabamba, mediante el uso de métodos hidráulicos e hidrológicos para evaluar las variaciones hidrológicas en el curso inferior del mismo por la presencia de la Central Hidroeléctrica Manduriacu.

Objetivos específicos

1. Describir la zona de estudio y sus características geomorfológicas, geológicas y ecológicas en base a la recopilación de información bibliográfica, de campo y aquella proporcionada por las diferentes instituciones públicas y privadas involucradas en la temática del proyecto.
2. Calcular el caudal ecológico de la cuenca del río Guayllabamba mediante métodos hidrológicos e hidráulicos para integrar, analizar, discutir y comparar los mismos a fin de obtener un resultado concluyente.
3. Inferir las variaciones hidrológicas existentes en el curso inferior de la cuenca del río Guayllabamba debido a la presencia de la Central Hidroeléctrica Manduriacu, a través de los resultados obtenidos de caudal ecológico.
4. Establecer la calidad de agua en el tramo de descarga de la Central Hidroeléctrica Manduriacu en base a una comparación con resultados de análisis previos en la zona y mediante la normativa correspondiente.

4. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

Para cumplir con los objetivos propuestos se describe primero conceptos, teorías, parámetros, ecuaciones y cualquier otro tipo de información relevante para el desarrollo investigativo. Esta sección posibilita inmiscuirse en el núcleo del estudio de tal modo que facilite al lector su entendimiento.

La redacción del marco teórico propone una primera visión de la investigación y con ello aclarar el proceso que se llevará a cabo para desarrollar la misma; así como, permite esclarecer dudas sobre terminología y/o metodologías que se van aplicar a manera de satisfacer los objetivos planteados.

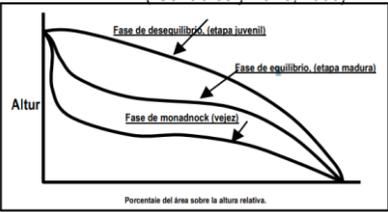
4.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICA – GEOGRÁFICA DE UNA CUENCA

En su mayoría los procesos que ocurren en una cuenca están relacionados con su caracterización física, debido a que como consecuencia de estos parámetros se puede establecer otro tipo de variables (Cañibano et al., 2016) .

Para identificar y caracterizar una cuenca hidrográfica es importante analizar algunos parámetros de forma, relieve y drenaje que al integrarse entre sí conciben un panorama y comportamiento general de la hoya. La Tabla 1 resume las principales características de análisis de una cuenca hidrográfica, la misma contempla rangos y límites que facilitan la interpretación de las diferentes variables.

Tabla 1. Conceptualización de parámetros para caracterización de una cuenca hidrográfica

Parámetro	Símbolo	Unidad	Concepto	Ecuación y/o Método de cálculo	Límites y/o imagen referencial	Fuente	
Área	A	m ²	Medida de superficie. Proyección horizontal de la superficie de la cuenca.	Sobre un mapa topográfico se realiza el trazado de la forma de la cuenca a escala.	Grande > 250 km ² Pequeña < 250 km ²	(Jardi, 1985)	
Perímetro	P	m	Medida lineal del contorno de la cuenca de drenaje	Representación topográfica que corresponde a la proyección horizontal.	Redondeada = conformada por materiales blandos. Quebrada o lobulada = conformado de materiales duros.	(Jardi, 1985)	
Centroide de la cuenca	CG	-	Punto central de la cuenca de drenaje	Mediante cálculo de inercias. Trazar una retícula ortogonal en el espacio de la cuenca y asignar a cada cuadrangular un área y un centroide.		(Jardi, 1985)	
Coeficiente de compacidad	Kc	-	Coeficiente adimensional que asocia el perímetro de la hoya con el perímetro de un círculo con una superficie semejante a la de la cuenca.	$K_c = \frac{P}{2\pi r} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$ P: perímetro de la cuenca A: área de la cuenca	Rangos de Kc 1.00 a 1.25 1.26 a 1.50 1.51 – 1.75	Clases de compacidad Redonda a oval redonda De oval redonda a oval oblonga De oval oblonga a rectangular oblonga	(Cañibano et al., 2016)
					1.00 1.128 1.76 – 3.00	Circular Cuadradas Alargadas	(Fuentes, 2004)
Ancho medio	Am	m	Representa la distancia del trayecto que une los puntos extremos de la cuenca de manera paralela al cauce principal	Distancia que existe desde el punto de descarga hasta la marca más lejana del cauce de la cuenca.		(Camino, Mariana; Bó et al., 2018)	
Forma de la cuenca	Factor de forma	Hf	Coeficiente que permite establecer la tendencia de la cuenca hacia las crecientes, para esto relaciona el área con la longitud del cauce más largo.	$H_f = \frac{A}{L_a^2}$ L _a : Longitud máxima o longitud axial A: área de la cuenca	Rangos de Hf 0.785 1 > 1 < 1	Clases de compacidad Circulares Cuenca perfectamente cuadradas Cuenca achatada con tendencia a ocurrencia de inundaciones Alargada con baja susceptibilidad a las crecientes	(Cañibano et al., 2016)
					0.01 a 0.18 0.18 – 0.36 0.36 - 0.54	Muy poco achatada Ligeramente achatada Moderadamente achatada	(Trujillo et al., 2010) (Fuentes, 2004)
Razón de elongación	Re	-	Relaciona el diámetro del círculo con el alargamiento de la cuenca	$R_e = \frac{D}{L} = 1.129 \frac{A^{\frac{1}{2}}}{L}$	< 1 = Formas largas Cercano a 1 = Formas redondeadas	(Jardi, 1985)	

Parámetro	Símbolo	Unidad	Concepto	Ecuación y/o Método de cálculo	Límites y/o imagen referencial	Fuente								
				A: área de la cuenca L: Longitud del cauce principal o Longitud de la cuenca (Máxima distancia en línea recta desde el punto de descarga de la cuenca y el más alejado del trazado de la cuenca)										
Elevación media de la cuenca	Em	msnm	Corresponde a la cota media que contemple el 50% de la superficie de la cuenca	Dividir el volumen total de la cuenca del relieve por la superficie proyectada de esta.	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Rangos de elevación</th> <th>Clases de elevación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1782,3 – 2072,2</td> <td>Baja</td> </tr> <tr> <td>2072,2 – 2362,2</td> <td>Moderada</td> </tr> <tr> <td>2362,4 -2652,2</td> <td>Alta</td> </tr> </tbody> </table>	Rangos de elevación	Clases de elevación	1782,3 – 2072,2	Baja	2072,2 – 2362,2	Moderada	2362,4 -2652,2	Alta	(Viramontes et al., 2008)
Rangos de elevación	Clases de elevación													
1782,3 – 2072,2	Baja													
2072,2 – 2362,2	Moderada													
2362,4 -2652,2	Alta													
Curva hipsométrica	Ch		El área acumulativa de la cuenca en cada cota	Gráfico de la curva que relaciona las alturas parciales y totales con las áreas parciales y totales entre curvas de nivel y el área total		(Viramontes et al., 2008)								
Elevación mediana de la cuenca	H50	msnm	Se aprecia que la mitad de la superficie de la cuenca está influenciada para las relaciones determinadas entre las elevaciones y la temperatura	Mediana estadística de las elevaciones de la curva hipsométrica		(Quintero Salazar et al., 2016)								
Pendiente media de la cuenca	J	%	Permite observar fenómenos erosivos. Mantiene una relación directa con la magnitud de las crecidas.	$J = 100 \frac{(\sum Li)(E)}{A}$ <p> $\sum Li$: Suma de las longitudes de las curvas de nivel (km) E: Equidistancia entre curvas de desnivel (km) A: Superficie de la cuenca (Km²) </p>		(Viramontes et al., 2008)								
Drenaje	Orden de la red hídrica	-	Clasificación de la red hídrica	Primero orden = carece de afluentes Segundo orden = unión de dos corrientes de primer orden Tercero = Confluyen dos cauces de segundo orden y así sucesivamente.		(Fuentes, 2004)								

Parámetro	Símbolo	Unidad	Concepto	Ecuación y/o Método de cálculo	Límites y/o imagen referencial	Fuente	
Longitud del cauce principal	LC	m	Distancia del cauce principal	El cauce principal es el que tenga la cota máxima y como descarga la cota mínima.		(Jardi, 1985) (Senciales, 1998)	
Longitud de la red hídrica	Lh	m	Corresponde a todos los ríos y arroyos que conforman el cauce principal	Sumatoria de la longitud de los ríos y arroyos			
Densidad de drenaje	D	Km ²	Relación entre la longitud media del curso por unidad de superficie	$D = \frac{\sum L}{A}$ ∑ L: Suma de longitudes de los cursos que conforman la cuenca (km) A: superficie de la cuenca (Km ²)	> 0.50 km/km ² = eficiencia de la red de drenaje	(Viramontes et al., 2008) (Meza Aliaga et al., 2014)	
Extensión media de escurrimiento	E	m	Correlación existente entre el área de la hoya y cuatro veces la longitud total de los ríos	$E = \frac{A}{4 \times Lt}$ A: área de la cuenca Lt: Longitud total de los ríos de la cuenca		(Bustos & Georgieff, 2020)	
Pendiente media del cauce principal	I	%	Parámetro que determina dentro del comportamiento hídrico las características óptimas de aprovechamiento.	$i = \frac{Hmax - Hmin}{Lc} * 100invtg$	Pendiente en porcentaje	Tipos de terrenos	(Viramontes et al., 2008)
					2	Llano	
					5	Suave	
					10	Accidente medio	
					15	Accidentado	
					25	Fuertemente accidentado	
50	Escarpado						
Mayor a 50	Muy escarpado						
Sinuosidad del cauce principal	St	-	Cauces de mayor pendiente se les considera de mayor sinuosidad y mayor fuerza erosiva	$St = \frac{LC}{LD}$ LC: longitud del cauce LD: Distancia más corta entre inicio y final del cauce	Tipo de canal	Índice de sinuosidad	(Senciales, 1998)
					Canal rectilíneo	1 -1.2	
					Canal transicional	1.2 – 1.5	
					Canal regular	1.5 – 1.7	
					Canal irregular	1.7 -2.1	
Canal tortuoso	> 2.1						
Coefficiente de torrencialidad	Ct		Representa la capacidad de erosión y capacidad de descarga de la cuenca.	$Ct = \frac{Nc1}{A}$ Nc1. - número total de cursos de primer orden. A.- área de la cuenca.	Mayor valor de torrencialidad, mayor susceptibilidad a la erosión menores tiempo de llegada al pico	(Camino, Mariana; Bó et al., 2018)	

4.2. CAUDAL ECOLÓGICO

4.2.1. DEFINICIÓN

A nivel global, se puede conceptualizar al caudal ecológico bajo diferentes perspectivas; sin embargo, todas se caracterizan por abarcar la conservación del ecosistema precautelando los recursos hídricos. Se tiene así, por ejemplo:

1. Caudal necesario para proteger la funcionalidad ecosistémica de una determinada extensión de agua (Arias, 2012).
2. Caudal apto para mantener la operatividad, compostura y disposición de un ecosistema acuático en circunstancias naturales. Este valor puede ser mínimo y máximo (García & González, 1984).
3. Volumen de agua de índole satisfactorio que requiere conservar un cauce para mantener un adecuado funcionamiento ecológico y la supervivencia de organismos que habitan en el mismo (Aguilera & Pouilly, 2012).
4. Caudal de agua que precisa conservar un río para mantener el ecosistema, biodiversidad y calidad; además de permitir el uso del recurso aguas abajo de una central hidroeléctrica (Tribunal Constitucional, 2007).

4.2.2. MARCO LEGAL EN ECUADOR

Conforme incrementan las necesidades de un país, aumenta el riesgo de perjudicar los recursos naturales del mismo; una de las principales demandas del Ecuador es la producción de energía eléctrica, por lo que, se ha desarrollado presas de gran y mediano tamaño; sin embargo, para su funcionamiento estas obras alteran directa e indirectamente los procesos ecológicos y funcionales de los ecosistemas, en especial sus afectaciones recaen de manera extensiva e intensiva sobre los recursos hídricos. Por tanto, a nivel país se plantea la manera de gestionar integral y adecuadamente el agua para su conservación, implementando políticas que precautelen la existencia del recurso en volumen y calidad (Arias, 2012).

Bajo este concepto en 1973 entra en vigencia la Ley de Aguas, la cual, normaliza el sistema de aprobación para obtener y utilizar el recurso del agua de manera adecuada.

Además, bajo el estatuto del Acuerdo Ministerial No. 155 (R.O. 41 del 14 de marzo de 2007) remitido por el Ministerio de Ambiente (MAE) y puesto en práctica por el Consejo Nacional de Electrificación, Conelec, como ente de jurisdicción ambiental de uso consiente, se introduce el concepto de caudales ecológicos orientado hacia la *“Norma Técnica Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental para los sectores de infraestructura: eléctrico, telecomunicaciones y transporte (puertos y aeropuertos)”* (Arias, 2012). El objetivo de estas normativas es principalmente minimizar las afectaciones ambientales que puedan causar las obras civiles de generación de electricidad, haciendo hincapié en los parámetros físicos y químicos del agua; para esto se establece como mínimo mantener un caudal ecológico equivalente al 10% del caudal mínimo promedio anual, la flaqueza de este concepto está en que no asume los indicadores biológicos pertinentes (Arias, 2012).

La constitución en su artículo 411 menciona dentro de su texto que es competencia del Estado proteger y asegurar el uso adecuado del agua; así como de establecer las formas de restituirlo en las fuentes de agua y cuencas hidrográficas existentes; sin embargo, conforme el artículo 318 recae en contradictoria, debido a que en este punto dictamina que es prioridad gestionar en el siguiente orden de actividades el uso del agua: consumo humano, riego para asegurar el bien alimenticio, caudal ecológico y actividades productivas varias; pautando al caudal ecológico como no preponderante ante otras necesidades (Arias, 2012).

A partir del año 2008 conforme el Decreto Ejecutivo 1088, se crea la Senagua, entidad que asume las competencias del ex Consejo Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) y abarca la Ley de Aguas de 1973 con su respectivo reglamento y codificación; a fin, de custodiar junto al MAE el acatamiento de la normativa relacionada al tema del caudal ecológico (Arias, 2012).

Durante el año de 2010 se aprueba bajo segundo debate la nueva ley de aguas denominada “*Proyecto de Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua*” y se establece por parte del Código Orgánico de Ordenamiento Territorial de Autonomía Descentralizada, COOTAD que dentro de las competencias de los GAD estará el estructurar y manejar el tema de hoyas hidrográficas y regulación territorial, todo esto respetando la diferente normativa impartida por la Senagua y el MAE (Arias, 2012).

4.2.3. ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA)

Muestra la intensidad de contaminación del agua, expresado en porcentaje; donde, si el valor es cercano o igual a cero, el agua se considera altamente contaminada. Y si el porcentaje tiende a cien por ciento, se puede determinar que el agua está en excelentes condiciones (Tribunal Constitucional, 2007).

4.2.4. MEDIDAS PARA MINIMIZAR IMPACTOS AMBIENTALES EN EL CUERPO HÍDRICO

Conforme lo establecido en el Art.59 del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental (RLGAPCCA) para mitigar los impactos ambientales producidos en un cuerpo hídrico a causa de la implementación de planes hidroeléctricos se puede lograr por medio de obras civiles de atracción de peces, desagües de fondo, entre otros. Asimismo, las Normas para el Mantenimiento de la Calidad de las Aguas Superficiales y Subterráneas, en sectores Hidrográficos y Embalses, menciona que los proyectos hidroeléctricos deben garantizar la calidad del agua, por tanto, se comprometen en realizar monitoreos periódicamente a través de muestras; así como, la implementación de obras complementarias que faciliten garantizar los usos aguas abajo del recurso, tanto de aquellas actividades que generen una disminución de cantidad como de aquellas que no. (Tribunal Constitucional, 2007).

4.2.5. MÉTODOS DE CÁLCULO

Es fundamental como bien tiene a mencionar el (Tribunal Constitucional, 2007) en su parte pertinente a la normativa que regula el caudal ecológico, que las centrales hidroeléctricas deben asegurar la conservación de un caudal de agua que resguarde el ecosistema acuático

El caudal ecológico de un cauce contempla su comportamiento hidrológico y la funcionalidad eco sistémica. Existen varias metodologías para definir este parámetro y todas ellas se basan en aspectos hidrológicos, hidráulicos, hidrobiológicos y holísticos (Arias, 2012).

4.2.5.1. Método hidrológico

Consiste en un análisis a partir de datos hidrológicos registrados a través de estaciones hidrometeorológicas cercanas a la zona del proyecto. Existen diferentes métodos propuestos como son:

a) Método de Hoppe

Consiste en una correlación de la curva de duración de caudales con respecto al panorama ecosistémico, para esto, se considera relevante estimar los caudales percentiles Q17%, Q40% y Q80%; valores que reflejan diferentes estadios de vida de una especie como son la etapa de poner (desovar: liberar huevos, larvas o esporas); etapa maduración (crecimiento) y etapa de proliferación (reproducción) respectivamente (Delgado et al., 2020b).

b) Método de Tennant

Relaciona el hábitat de una especie definida con la forma del cauce. Se selecciona una especie perteneciente al hábitat del río en estudio, a partir de este se especifica el caudal necesario para su supervivencia y se determina un caudal correspondiente al 10%, 20% y 60% del caudal promedio anual considerado como bueno, excelente y óptimo respectivamente con referencia al requirente para la especie fijada inicialmente (Delgado et al., 2020a).

c) Método del caudal base de 7 días con periodo de ocurrencia de 10 años (7Q10)

Se obtiene por medio de un análisis estadístico de una serie semanal de caudales mínimos diarios por un tiempo de 10 años, se presume este caudal es igual o menor al caudal medio en algún episodio de 7 días de sequía consecutivos (Delgado et al., 2020a).

4.2.5.2. Método hidráulico

Se basa en el análisis hidráulico del cauce, se requiere conocer parámetros con respecto a la sección transversal de un cauce y vincular el volumen de descarga con el perímetro mojado, velocidad y profundidad (Delgado et al., 2020a).

a) Método de perímetro mojado

Bajo el concepto de que el hábitat está relacionado con el área húmeda, se traza curvas que relacionan el caudal con el perímetro mojado (Delgado et al., 2020a).

4.2.6. MÉTODO ECUATORIANO

Acorde a las normativa con respecto al caudal ecológico del (Tribunal Constitucional, 2007) se establece que este deberá ser al menos el 10% del caudal medio que existía en el cauce previo a la implantación de cualquier obra civil relacionada a una presa, de ser el caso de obtener un valor menor a este, la entidad de diseño deberá corroborar y justificar técnicamente las razones de este evento. De igual modo se debe evaluar el cumplimiento de este valor para evitar interferencias con el régimen natural de la vida acuática y del uso común del mismo. Para determinarlo hay que contar con valores históricos de caudales del cuerpo y de su cuenca obtenidos de las estaciones meteorológicas cercanas; además se puede llevar al mínimo el monitoreo del río por un año. El caudal ecológico deberá mantenerse en el cauce posterior a la salida de la central hidroeléctrica, para su cálculo se tiene los siguientes aspectos:

- Comportamiento del río
- Condición del agua
- Interacciones bióticas en el agua y tierra – agua
- Ocupación del agua en el área de influencia del proyecto

Este método considera a la variación hidrológica como fundamental para la composición de la diversidad de seres vivos y para controlar las condiciones del entorno. (Delgado et al., 2020a).

4.3. CALIDAD DEL AGUA EN UN RÍO

Realizar previo al emplazamiento de cualquier proyecto hidroeléctrico un análisis que contemple el estudio físico, químico y biológico tanto del cauce principal como de sus tributarios; todo esto, a fin de poder llevar un monitoreo que permita verificar que los resultados de la calidad de agua se mantengan durante la operación de la misma en referencia a la respuesta de calidad inicial que se conservaba previo a la implantación de la obra; siendo los parámetros mínimos requeridos para un análisis físico – químico en cuerpos de agua superficial los mostrados en la Tabla 2 (Tribunal Constitucional, 2007).

Tabla 2. *Parámetros físicos – químicos para agua superficial*

Parámetros	Expresados como	Unidad
Potencial de hidrógeno	pH	-
Caudal	Q	l/s
Temperatura	T	°C
Oxígeno disuelto	O.D	mg/l
Sulfuro de hidrógeno ionizado	H ₂ S	mg/l
Sólidos Disueltos Totales	SDT	mg/l
Amoniaco	NH ₃	mg/l
Hierro	Fe	mg/l
Manganeso	Mn	mg/l
Aluminio	Al	mg/l
Níquel	Ni	mg/l
Zinc	Zn	mg/l
Coliformes Fecales	CF	Nmp/100 ml

Fuente: (Tribunal Constitucional, 2007)

Y los parámetros biológicos mínimos recomendados conforme (Tribunal Constitucional, 2007) son:

- Fitoplancton – Células/m³
- Zooplancton – Individuos/10 m²
- Ictioplancton – No. Individuos / 10 m²
- Bentos – No. Organismos/ m²
- Peces y familias – Unidades por lance

4.3.1. INDICADORES DE CALIDAD

Conforme se ha ido actualizando las diferentes normativas en referencia a la calidad del agua, el libro VI del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria TULSMA del MAE, que regula el tema sobre la contaminación del agua, manifiesta en la Figura 1 los valores que se requiere cumplir para preservar el ecosistema en aguas de tipos varios (Tribunal Constitucional, 2007).

Figura 1. Indicadores de calidad para la conservación de la biota en aguas marinas, esteros, dulces, frías o cálidas

Parámetros	Expresados como	Unidad	Límite máximo permisible		
			Agua fría dulce	Agua cálida dulce	Agua marina y de estuario
Clorofenoles Bifenilos policlorados/PCBs	Concentración total de PCBs.	mg/l	0,5	0,5	0,5
Oxígeno Disuelto	O.D.	mg/l	No menor al 80% y no menor a 6 mg/l	No menor al 60% y no menor a 5 mg/l	No menor al 60% y no menor a 5 mg/l
Potencial de hidrógeno	pH		6, 5-9	6, 5-9	6, 5-9, 5
Sulfuro de hidrógeno ionizado	H ₂ S	mg/l	0,0002	0,0002	0,0002
Amoniaco	NH ₃	mg/l	0,02	0,02	0,4
Aluminio	Al	mg/l	0,1	0,1	1,5
Arsénico	As	mg/l	0,05	0,05	0,05
Bario	Ba	mg/l	1,0	1,0	1,0
Berilio	Be	mg/l	0,1	0,1	1,5
Boro	B	mg/l	0,75	0,75	5,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,001	0,001	0,005
Cianuro Libre	CN ⁻	mg/l	0,01	0,01	0,01
Zinc	Zn	mg/l	0,18	0,18	0,17
Cloro residual	Cl	mg/l	0,01	0,01	0,01
Estaño	Sn	mg/l			2,00
Cobalto	Co	mg/l	0,2	0,2	0,2
Plomo	Pb	mg/l			0,01
Cobre	Cu	mg/l	0,02	0,02	0,05
Cromo total	Cr	mg/l	0,05	0,05	0,05
Fenoles monohídricos	Expresado como fenoles	mg/l	0,001	0,001	0,001
Grasas y aceites	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3	0,3	0,3
Hierro	Fe	mg/l	0,3	0,3	0,3
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	0,5	0,5	0,5
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs)	Concentración total de HAPs	mg/l	0,0003	0,0003	0,0003
Manganeso	Mn	mg/l	0,1	0,1	0,1

Fuente: (Ministerio del Ambiente, 2011)

5. MATERIALES Y METODOLOGÍA

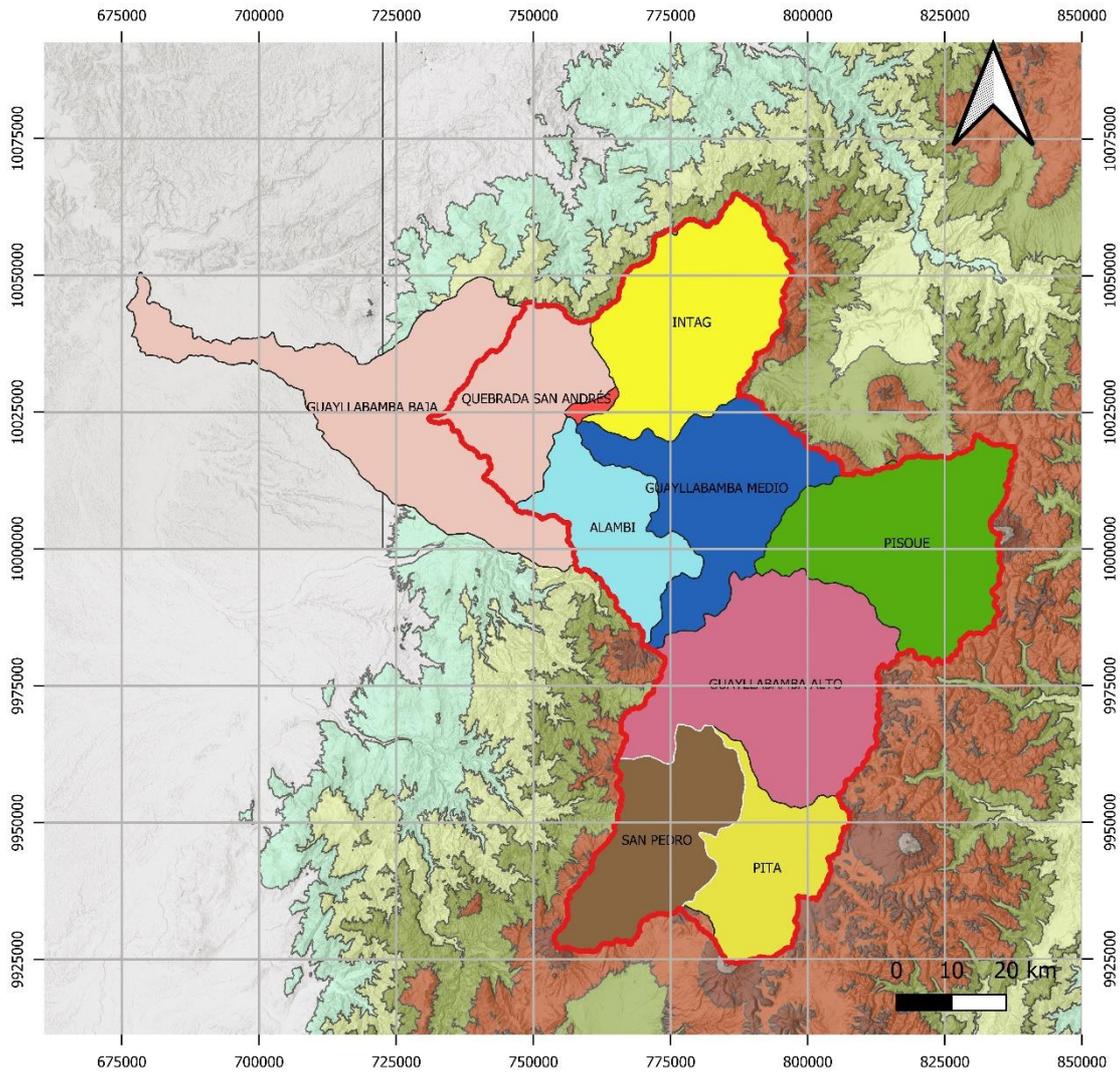
5.1. ÁREA DE ESTUDIO

5.1.1. UBICACIÓN POLÍTICO ADMINISTRATIVO.

El proyecto se desarrolla en la cuenca hidrográfica Guayllabamba, cuyo punto de descarga es la presa Manduriacu; los afluentes principales son los ríos Monjas, Machángara y San Pedro. Demarcado geográficamente en Imbabura y Pichincha. Según datos de la SENAGUA se le considera una unidad hidrográfica nivel 4, conformada por 9 unidades hidrográficas nivel 5: San Pedro, Guayllabamba bajo, Pisque, Intag, Quebrada San Andrés, Pita, Guayllabamba Alto, Alambi y Guayllabamba Medio (Orellana, 2015). En la Figura 2 a fin de visualizar el panorama general del área de estudio se presenta la conformación de la cuenca hidrográfica dividida conforme sus unidades hidrográficas y el trazado de la superficie objetivo de estudio.

Debido a que el proyecto Hidroeléctrica Manduriacu implica un punto clave dentro de este estudio, se tiene a bien mencionar que la central se localiza en la cuenca media baja del río Guayllabamba entre las cotas 495 y 455 msnm; las comunidades cercanas a esta zona son Cielo Verde y Guayabillas (Orellana, 2015).

Figura 2. Ubicación político administrativo.



5.1.2. INFRAESTRUCTURA INFLUYENTE EN LA DELIMITACIÓN TERRITORIAL

Dentro de la delimitación territorial del proyecto se tiene a la mega construcción de la Central Hidroeléctrica Manduriacu, infraestructura perteneciente a la Corporación Eléctrica del Ecuador y que afecta directamente a la cuenca del río Guayllabamba aguas abajo. Al ser un componente de obra civil que interfiere directamente en el desenvolvimiento de este estudio se profundiza en esta sección sus particularidades.

5.1.2.1. *Manduriacu*

Forma parte de un sistema hidroeléctrico integral en el río Guayllabamba, ubicado en la parte media baja de la cuenca, colindando en su parte alta con la Central Hidroeléctrica Chespi, Chontal, Chirapi y en su parte baja con la Central Hidroeléctrica Tortugo, Tigre y LLurimaguas, ubicadas conforme ese orden; sin embargo, todos estos proyectos se encuentran a nivel de factibilidad avanzada. (HIDROEQUINOCCIO, 2012)

Se beneficia de la fuente de agua existente entre las cotas 500 y 430 msnm y las confluencias principales son el río Chalguayacu y Manduriacu Grande. (CELEC EP, 2011). Previo a implementar el proyecto se evaluó cuatro alternativas de diseño, de las cuales se concluyó que la mejor opción era aquella que tendría menores impactos ambientales y sociales, cuyas características técnicas se detallan en la Tabla 3, información que se puede encontrar de manera libre en el portal de compras públicas, como proceso de ejecución con código GEN-CELEC-007-2011. (HIDROEQUINOCCIO, 2012).

Tabla 3. Características generales de la Central Manduriacu.

Características	Unidad	Valor
Hidrología		
Precipitación media anual de la cuenca	mm/año	1500
Precipitación en el sitio de aprovechamiento	mm/año	3450
Caudal 90% diario	m ³ /s	78,40
Caudal medio diario (1965 – 2006)	m ³ /s	168,50
Caudal de diseño	m ³ /s	210,00
Caudal de crecida (TR 5000 años)	m ³ /s	2780,00
Embalse / Captación		
Nivel de operación – máximo normal	msnm	492,50
Nivel de operación – mínimo normal	msnm	489,40
Nivel de operación – mínimo extraordinario	msnm	479,30
Volumen total (Capacidad total del embalse)	hm ³	10,50
Volumen útil total	hm ³	7,0
Volumen útil normal de operación	hm ³	2,1
Volumen anual de sedimentos	t/año	3,45 x 10 ⁶
Presa		
Tipo	Gravedad de RCC	
Altura de la presa sobre el cauce del río	m	40,00
Nivel del coronamiento	msnm	495,40
Longitud de coronación	m	240,00
Casa de máquinas y canal de descarga		
Nivel vertedero de descarga	msnm	455,00
Caída neta nominal de diseño	m	31,00
Caída bruta	m	37,40
Turbinas		
Tipo turbinas	Kaplan	
Número de unidades	#	2
Caudal unitario por turbina	m ³ /s	105,00
Potencia nominal de turbina	MW	29,75
Generadores		
Voltaje Nominal	Kv	13,80
Potencia nominal unitaria	MVA	32,11
Subestación de salida		
Voltaje de salida	kV	230
Tipo		SF6
Producción energética		
Potencia máxima instalada	MW	65,70
Potencia remunerable	MW	45,85
Energía media anual	GW h	355,55

Fuente: (CELEC EP, 2011)

El proyecto dispone además según (HIDROEQUINOCCIO, 2012) de:

- **Ascensor de peces:** permite el desplazamiento de peces a través de la presa existente, facilitando su paso de manera ininterrumpida hacia el embalse desde el río o viceversa
- **Cuenca pre excavado:** permite controlar la socavación producto del impacto del chorro que sale del vertedero de excesos de la presa.

- **Obras de desvío:** canal de desviación de forma trapezoidal con un ancho en la base igual a 14,0 m y con taludes 1H: 2V y 10.0 m de altura excavado en roca, sin revestimiento; la longitud total del canal de desvío es de 404 m y tiene una pendiente del 0,65%, similar a la pendiente del cauce natural del río.
- **Captación:** Compuesta por dos tomas planas independientes, ubicadas con el mismo ángulo del paramento de la presa, en el estribo derecho. Conformada por dos estructuras de entrada, dos rejillas de captación y dos tuberías, una por cada unidad de generación instalada en la casa de máquinas.
- **Tubería de presión:** Durante la operación a su máximo nivel alcanza una elevación de 492,40 msnm y durante su mínimo mantiene una elevación igual a 489,60 msnm. Su diámetro corresponde a un valor igual a 4,50 m con una longitud aproximada de 45,40 m (HIDROEQUINOCCIO, 2012).
- **Casa de máquinas y canal de descarga:** A una elevación de 465,0 msnm se localiza la casa de máquinas conformada por una estructura de hormigón semi enterrada. Para la generación de energía utiliza dos grupos de turbinas tipo Kaplan que ofrecen 30 KW cada una, requiere para su funcionamiento de un caudal constante de 210 m³/s en conjunto a una altura de 33,70 m (HIDROEQUINOCCIO, 2012).

5.1.2.1.1. Hidrología

El proyecto Manduriacu dispone para la determinación de caudales los valores provenientes de la estación meteorológica Guayllabamba DJ Alambi y Guayllabamba DJ Pachijal, con una precipitación promedio en el sitio de toma de 2400 a 2900 mm/año y una aportación directa de caudal medio de verano igual a 45,8 lt/s/km² a través del trayecto de 24 km que va desde el punto de descarga del proyecto Hidroeléctrico Chontal hasta Manduriacu y procedente de una red hídrica compuesta por ocho ríos, una quebrada y un estero (HIDROEQUINOCCIO, 2012).

5.1.2.1.2. *Calidad de agua*

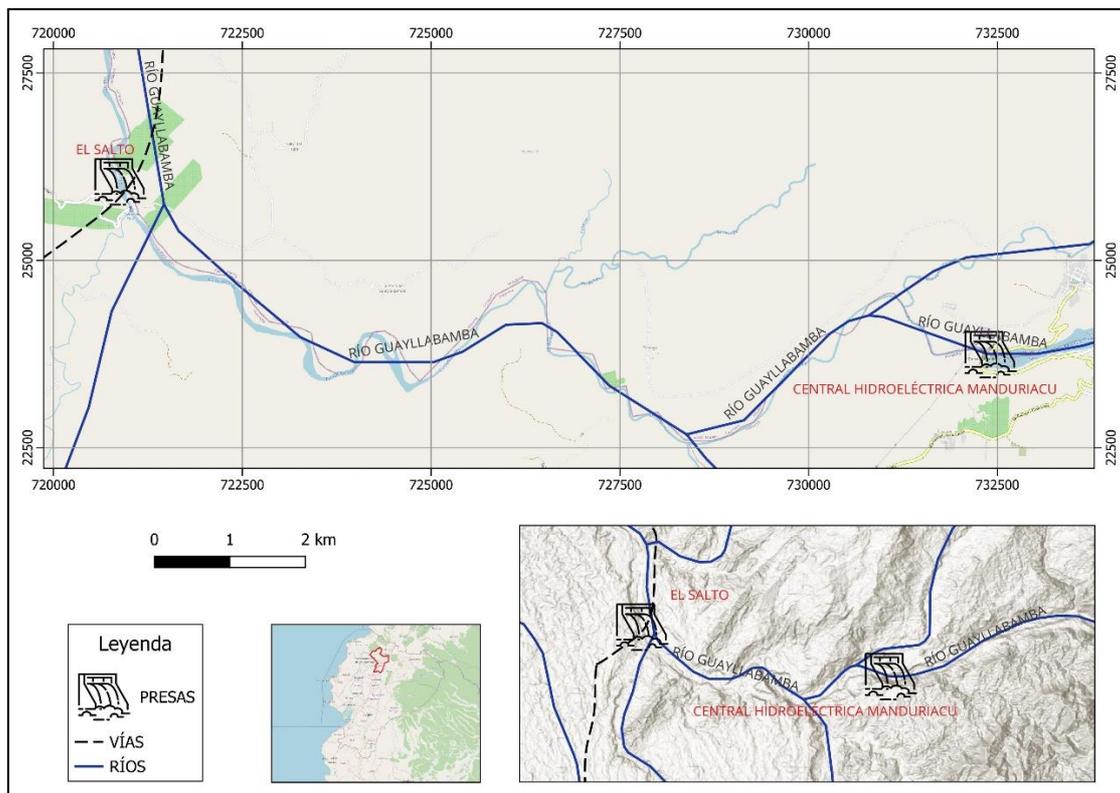
Conforme (HIDROEQUINOCCIO, 2012) el tramo del río Guayllabamba estudiado, de aproximadamente 19.6 km de los 143 km que tiene el cauce principal hasta la Estación DJ Pachijal, presenta una alta contaminación orgánica.

1. Coliformes totales.
2. Contaminantes especialmente de aluminio y hierro
3. Sólidos suspendidos totales
4. Fosfatos y nutrientes vinculados a los aportes domésticos.

Como se evidencia el estudio ambiental definitivo del proyecto hidroeléctrico Manduriacu es muy ambiguo, por lo cual, se opta por describir el estudio de calidad del agua del río Guayllabamba realizado para el proyecto de la presa hidroeléctrica el Salto, puesto que, la misma fue desarrollada bajo el esquema y curso que correspondía a los proyectos en cascada no realizados sobre la cuenca baja del río Guayllabamba; El Tortugo, El Tigre y Llurimaguas (Pichincha, 2012).

En la Figura 3 se identifica al embalse de la presa El Salto ubicada inmediatamente después de la descarga de la presa Hidroeléctrica Manduriacu, por su ubicación el monitoreo de calidad del agua en el embalse de la presa hidroeléctrica El Salto, puede utilizarse como referencial para la calidad de agua a la salida de la Central de la Hidroeléctrica Manduriacu.

Figura 3. Ubicación represa hidroeléctrica El Salto y Manduriacu.



En la Figura 4 se detalla los resultados obtenidos del estudio de calidad de agua en el punto del embalse de la Hidroeléctrica El Salto, valores comparativos para el análisis a implementar en la zona de descarga de la presa Hidroeléctrica Manduriacu.

Figura 4. Monitoreo del agua del embalse de la central Hidroeléctrica El Salto.

Proyecto	Proyecto Hidroeléctrico El Salto			
Fecha de análisis	29 de Agosto de 2016			
Nombre del Laboratorio	CORPLAB			
Ubicación	Embalse El Salto	Coordenadas UTM WGS 84	17 N 0721994/0024603	
Parámetro	Unidad	Resultado	Límite máximo permisible*	Cumplimiento
Aluminio	mg/l	<0.25	0.1	---
Amoniaco	mg/l	0.38	No aplica	No aplica
Zinc	mg/l	<0.05	0.03	---
Aceites y grasas	mg/l	<20	0.3	---
Hierro	mg/l	<0.2	0.3	Cumple
Manganeso	mg/l	<0.01	0.1	Cumple
Oxígeno disuelto	% de saturación	93.74	>80	Cumple
pH	UpH	8.35	6.5 – 9	Cumple
Nitratos	mg/l	13.01	13	No cumple
Demanda química de oxígeno	mg/l	<10.0	40	Cumple
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l	<4.75	20	Cumple
Caudal	l/s	228800	No aplica	No aplica
Temperatura	°C	22.4	No aplica	No aplica
Coliformes fecales	NMP/100ml	2.2	No aplica	No aplica
Fosfatos	mg/l	<1.23	No aplica	No aplica
Niquel	mg/l	<0.05	<0.025	---
Sólidos disueltos totales	mg/l	204	No aplica	No aplica
Sólidos suspendidos totales	mg/l	<10.0	Máx. incremento de 10% de la condición natural	Cumple
Sólidos totales	mg/l	214	No aplica	No aplica
Nitrógeno total Kjeldahl	mg/l	<1.25	No aplica	No aplica
Fósforo Total	mg/l	<1.0	No aplica	No aplica

Fuente:(TAIAO, 2016)

5.1.2.1.3. Evaluación ambiental

Con respecto al tema de autorización ambiental, la operación del proyecto hidroeléctrico Manduriacu se basa en lo dispuesto por el Consejo Nacional de Desarrollo Sustentable (CNDS), Ministerio del Ambiente (MAE) o Autoridad Ambiental Nacional (AAN) y Sistema Nacional Descentralizado de la Gestión Ambiental (SNSGA) (HIDROEQUINOCCIO, 2012). El estudio ambiental estima que el proyecto Manduriacu genera un área de influencia conforme se detalla en la Tabla 4, en la que se determina que durante la construcción no tiene una influencia indirecta mientras durante la operación y mantenimiento mantiene una amplia área de incidencia directa con respecto a la repercusión indirecta.

Tabla 4. *Influencia del proyecto Manduriacu*

Etapas del proyecto	Área de influencia directa	Área de influencia indirecta
Construcción	1445.20 Ha	
Operación y Mantenimiento	4646 Ha. El incremento es debido al embalse cuya superficie de inundación es de aproximadamente 50 Ha, más una faja de protección de 50 m en horizontal que corresponden a las cuencas Huaycuyacu y Verde.	50.50 Ha. Comprendido entre el sitio de la presa del proyecto Hidroeléctrico Chontal y 1.5 Km después del punto de descarga de la casa de máquinas del proyecto Hidroeléctrico Manduriacu

Fuente: (HIDROEQUINOCCIO, 2012)

Son diversas las acciones que se ejecutaron dentro de las diferentes etapas del proyecto que generaron un impacto directo e indirecto a la zona del proyecto, las cuales fueron evaluadas y desarrolladas a fin de poder implementar un adecuado plan de gestión ambiental. En base a este estudio se concluyó que el proyecto genera un impacto ambiental medio- alto, conforme se detalla en la Tabla 5.

Tabla 5. *Evaluación ambiental conforme las fases del proyecto*

Fases del proyecto	Actividades que generan impacto	Evaluación ambiental
Preconstrucción	<ul style="list-style-type: none"> - Adquisición de predios - Imposición de servidumbres - Fuentes de materiales de construcción - Aprovechamiento de agua - Rescate y liberación de áreas arqueológicas 	Impacto negativo significativo debido a que se requirió adquirir áreas donde el valor de tierra es alto para la siembra de frutales y pasto.

Fases del proyecto	Actividades que generan impacto	Evaluación ambiental
Construcción	<ul style="list-style-type: none"> - Movilización - Operación - Utilización de Servicios Públicos / Construcción de edificaciones - Utilización de Fuentes Naturales de Agua / Obras de Captación y Derivación de Agua. - Explotación de Minas y Canteras - Suministro, Transporte y Almacenamiento de Insumo y Equipos - Operación de Planta de hormigones y acopio de materiales - Movimiento de personal y equipo liviano y pesado en obra. - Construcción y mantenimiento de las vías de accesos permanentes - Desbroce, desbosque y limpieza de la vegetación -Excavaciones a cielo abierto y movimiento de tierras - Transporte y desalojo de estériles a escombreras - Construcción de obras de desvío (Canal y ataguías) - Construcción de la presa (excavaciones en cauce, cimentación y hormigonado) - Cuenco disipador pre-excavado - Construcción de obras para la evacuación de caudal y el sistema de máquinas. - Construcción de la subestación y patio de maniobras - Montaje e instalación de equipos mecánicos, eléctricos y telecomunicaciones - Construcción de edificios administrativos - Manejo de la biomasa del embalse - Llenado del embalse, pruebas y entrada en operación 	<p>Dictamen negativo significativo, puesto que el proyecto requirió para su implementación el desbroce y desbanque de espacios verdes y afectación de cauce del río.</p>
Operación y mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> - Operación de la central y subestación - Operación del ascensor de peces - Aprovechamiento de caudales - Restitución de caudales turbinados - Suministros de equipos y materiales - Sistema de Abastecimiento de agua. - Manejo del embalse - Generación de desechos y efluentes industriales - Suspensión temporal de la generación y suministro de la energía. - Tránsito de sedimentos - Limpieza del cuenco del embalse 	<p>El impacto ambiental generado a causa del funcionamiento del proyecto es negativo y alto. Se estima que a causa de agua contaminada de la cuenca aguas arriba, el embalse del proyecto requiera mayor número de lavados, provocando con ellos alterar la vida acuática existente en el río Guayllabamba y por tanto permitiendo la desaparición total o paulatina de la vida acuática</p>

Fuente: (HIDROEQUINOCCIO, 2012)

El proyecto se ve principalmente afectado en la hidromorfología y dinámica del río Guayllabamba en un recorrido de alrededor de 4.7 km aguas arriba por causa del embalse y 1.5 km aguas abajo a causa de los lavados. Además, no se determina el caudal ecológico, dado que en base a lo que mencionan en su plan de gestión ambiental no lo consideran relevante al mantener una restitución de caudales a menos de 200 m y debido a que disponen de equipamientos como ascensores de peces con un canal de atracción con 2 m de profundidad por un ancho de 4 m y con caudal permanente de 300 l/s, lo que simula la morfología del río Guayllabamba y pretende garantizar el transporte aguas arriba del embalse de especies migratorias (sábalo y lisa) (HIDROEQUINOCCIO, 2012)

5.2. METODOLOGÍA

La metodología de esta investigación es mixta, compuesta de un ámbito cuantitativo y cualitativo; el caudal ecológico se determinará mediante compilación de datos de estaciones meteorológicas localizadas en la proximidad de la cuenca y a través de mediciones in situ.

Con respecto a la metodología cuantitativa, se determinará el caudal medio de la cuenca aplicando el método hidráulico, el cual consiste en la medición in situ con el respectivo cálculo numérico de estos datos y por el método hidrológico, el que comprende un análisis estadístico de los datos hidro y meteorológicos de las estaciones próximas o pertenecientes a la zona de estudio. Los resultados obtenidos permitirán establecer el caudal ecológico de la cuenca.

El proyecto presenta en su estudio la interpretación y el contexto del entorno natural en el que se realizó las mediciones, por lo que esta investigación mantiene además un enfoque cualitativo. Se involucra la observación del entorno, el comportamiento del agua, la presencia de obstrucciones en el flujo como lo es la presa Manduriacu, la calidad del agua, entre otros factores que puedan afectar la variación hidrológica existente en la cuenca de estudio.

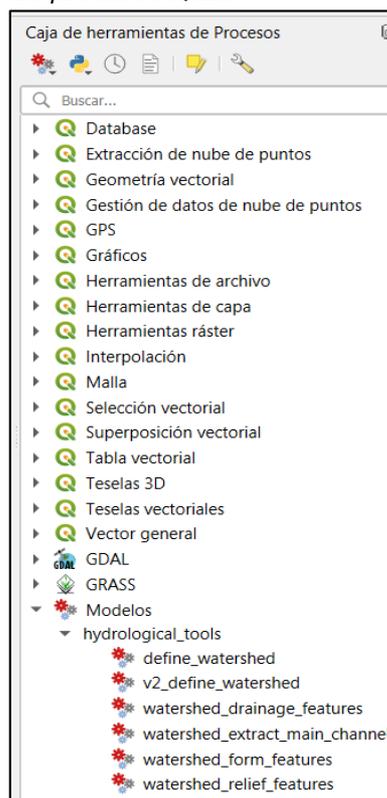
Al combinar estas dos ramas de la metodología se obtendrá como producto final el objetivo principal de esta investigación contemplando tanto el enfoque numérico como el entorno de la zona de estudio.

5.2.1. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE LA CUENCA

La interpretación de la cuenca se llevó a cabo mediante modelamiento en el programa Q-GIS, se realizó el trazado y en base al uso de modelos y herramientas hidrológicas desarrolladas por el Ing. Christian Domínguez director y docente de la Maestría en Sistemas Hidráulicos Urbanos de Abastecimiento y Protección, se definió el relieve, la morfología y drenaje de la cuenca; estas herramientas se encuentran dentro del Anexo 1 y son:

- Define_watershed
- Watershed_drainage_features
- Watershed_extract_main_channel
- Watershed_form_features
- Watershed_relief_features

Figura 5. Caja de herramienta de procesos QGIS



Fuente: QGis3.30.1

Estos modelos deben ser cargados dentro del panel de herramientas correspondiente a los procesos de QGIS previo a su ejecución, como se muestra en la Figura 5.

El procedimiento implementado fue el siguiente:

1. Se instaló como complementos de QGIS: QuickMapServices (Mapas en línea), SRTM Downloader (descarga modelos de elevación digital a precisión de 30 x 30 m) y Profile Tool (Imprime perfiles del terreno). En la Figura 6, se muestra la ubicación de estos complementos dentro del programa QGis, a fin de facilitar el entendimiento del proceso llevado a cabo.

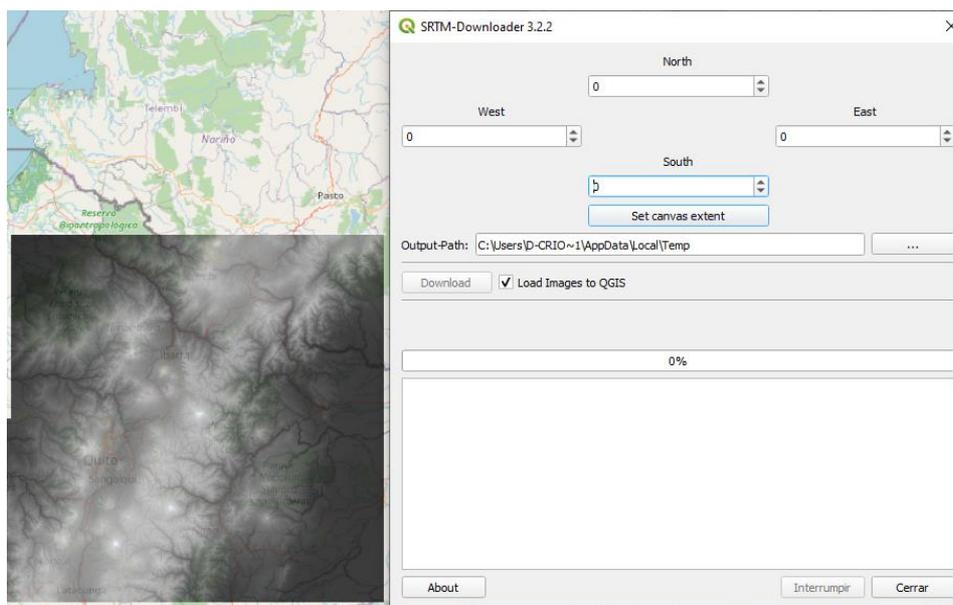
Figura 6. Complementos QGis



Fuente: QGis3.30.1

2. Se estableció el sistema de referencia: UTM (Considera que la superficie es un plano y las coordenadas están en metros) o Geográficas (Se encuentran en grados, consideran que la superficie tiene una curvatura). El sistema a emplear dependerá del tipo de herramienta hidrológica utilizada. Se empleó las coordenadas WGS84 y UTM Sur (debido a la forma, la cuenca se ve afectada por la línea divisoria conservando una parte en la zona sur y otra en la zona norte, se optó por la zona que presenta mayor superficie)
3. Se cargó el mapa de open street map (OSM) con la aplicación de QuickMapServices, al ser un mapa interactivo del mundo permite la fácil localización del punto de interés.
4. Se realizó el trazado de la cuenca en base a un modelo digital del terreno descargado a través del complemento SRTM- Downloader, para esto se utiliza como datos de entrada los límites norte, sur, este y oeste del área o sección de la zona que se desea obtener. Esta imagen se descarga desde aportaciones de la NASA y es necesario disponer de un usuario y contraseña en la cuenta de "earthdata". Al ser una imagen de gran tamaño se acortó mediante la opción propia de QGIS raster por extensión, de modo que se adapte y aproxime a la cuenca en estudio. En la Figura 7, se tiene el panel en el cual se limita el área de la sección que se desea obtener una imagen de elevación digital y su respectivo producto.

Figura 7. Descarga y funcionamiento complemento SRTM-Downloader 3.2.2

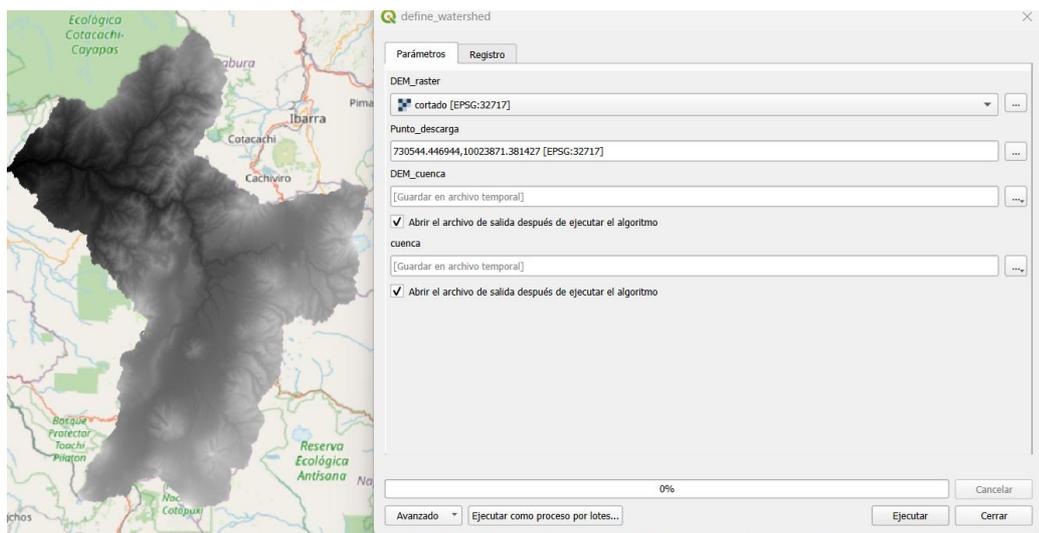


Fuente: QGis3.30.1

Se empleó para definir la cuenca la herramienta *“Define_watershed”*, creada mediante la opción de model designer y la cual solicita como entrada la imagen de elevación digital que contenga a la cuenca y la selección del punto de descarga; el procedimiento interno de esta herramienta consiste en rellenar las depresiones que se forman en el modelo de elevación digital, de modo que resulten planas y permitan el recorrido normal del agua hacia el punto de descarga; posterior a esto define las pendientes y determina el movimiento del agua a fin de poder calcular al área acumulada en cada celda creada, este procedimiento se puede observar mediante la Figura 8.

Se obtiene la imagen de elevación digital netamente del contorno de la cuenca de estudio y la capa del trazado de la misma. Las capas se deben exportar y guardar de manera permanente (formato shapefile y/o TIF según corresponda y coordenadas UTM).

Figura 8. Funcionamiento “Define_watershed”

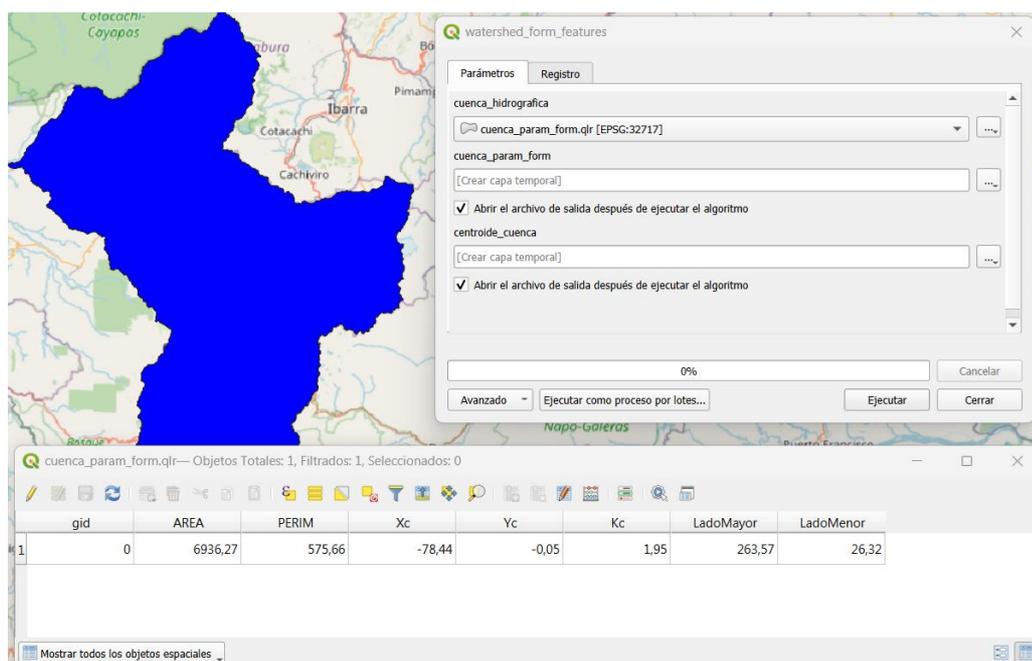


Fuente: QGis3.30.1

5. Se implementó el modelo “*Watershed_form_features*” para evaluar factores de forma como área, perímetro, centroide, rectángulo equivalente y coeficiente de Gravelius; los valores de forma se validaron mediante los cálculos respectivos utilizando como datos de entrada el área y perímetro conforme se menciona en el marco teórico.

El modelo utiliza como entrada la capa del trazado de la cuenca y como resultado crea dos capas nuevas, una donde se visualiza el centroide y otra con la forma de la hoya, en el cuadro de atributos se registra los criterios generales y de forma, de manera resumida se muestra este procedimiento en la Figura 9, donde se visualiza el panel de entrada de datos y el producto del trazado con su respectivo cuadro resultante de variables.

Figura 9. Funcionamiento “Watershed_form_features”

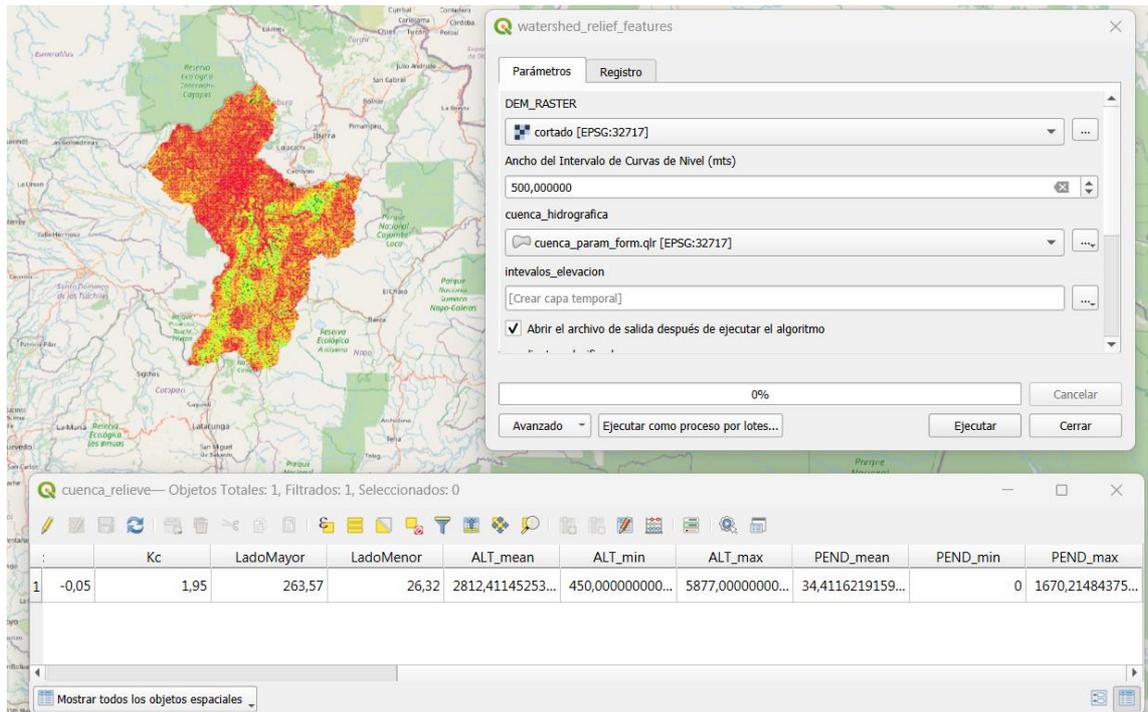


Fuente: QGis3.30.1

- Se determinó los parámetros de relieve utilizando el modelo “Watershed_relief_features”, donde se tiene como entrada la imagen de elevación digital de la cuena en coordenadas UTM; para identificar las curvas de nivel se determina el rango de elevaciones de la cuena mediante la banda de colores del raster y se especificó el ancho del intervalo, para la cuena en estudio al ser la cota mínima 450 msnm y cota máxima 5877 msnm, se seleccionó un ancho de 500 m, con lo que se obtiene un total de 11 rangos. Se especificó la capa del polígono del trazado del numeral anterior, a fin de que en esta tabla de atributos se complementa con los nuevos resultados de relieve.

Se obtuvo una capa con curvas de nivel, en cuya tabla de atributos se aprecia elevaciones máxima, mínima y media y pendientes de la cuena; además se obtuvo un mapa de altitudes en un rango de colores que permita visualizar la gradiente de elevaciones. Con los valores obtenidos en la tabla de atributos de elevaciones y área entre curvas de nivel se puede trazar la curva hipsométrica, elevación mediana y el rectángulo equivalente conforme lo mencionado en el marco teórico. Tanto el procedimiento como el resultado obtenido se muestran en la Figura 10.

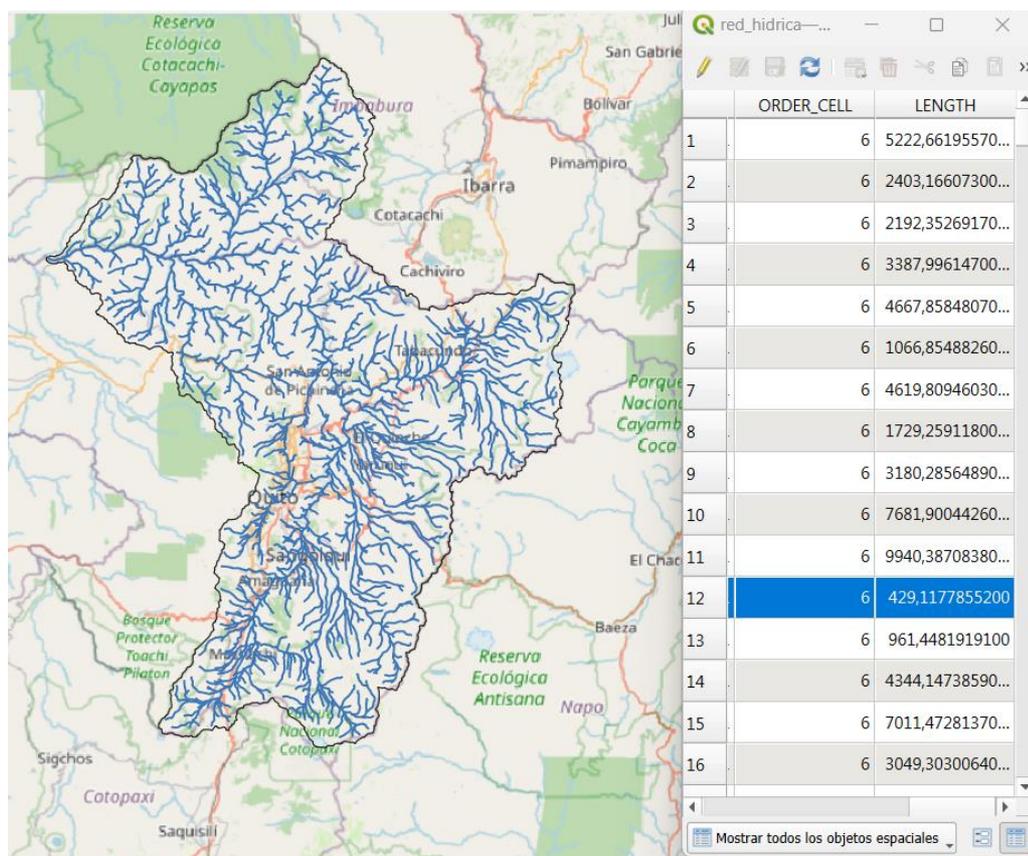
Figura 10. Funcionamiento “Watershed_relief_features”



Fuente: QGIS3.30.1

- Los parámetros de drenaje se obtuvieron conforme la función “Watershed_drainage_features”. La orden de corrientes se definió mediante la imagen de elevación de la cuenca y el valor de umbral de Strahler; como resultado se obtiene dos capas, una donde se visualiza los nudos de intersección de los ríos y otra donde se observa la red hídrica. En la tabla de atributos se puede establecer el orden de cada bifurcación y su respectiva longitud, con estos resultados se determinó la orden hídrica de la cuenca, la totalidad en longitud de los ríos conforme este orden, densidad de drenaje, extensión media de escurrimiento y coeficiente de torrencialidad. En la Figura 11, se tiene el procedimiento y resultado del uso de la herramienta de drenaje “Watershed_drainage_features”, mediante la cual se establece que la cuenca resulta ser de orden 6 en el umbral de Strahler.

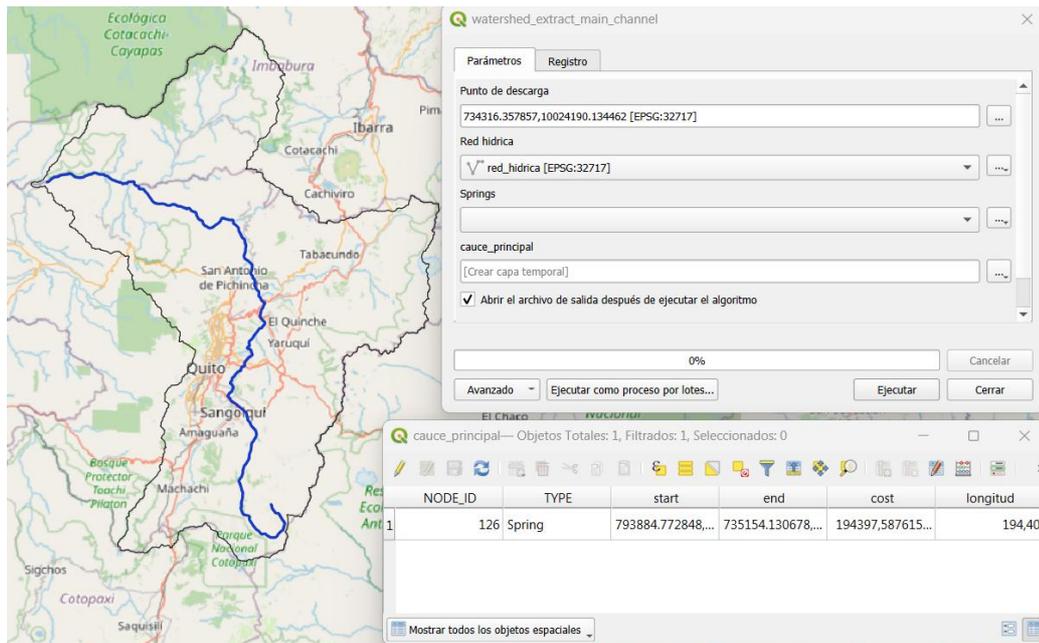
Figura 11. Funcionamiento “Watershed_drainage_features”



Fuente: QGis3.30.1

Mientras para especificar la extensión del cauce principal se empleó la función “Watershed_extract_main_channel”, la cual conforme se observa en la Figura 12 necesita de tres datos de entrada: el punto de descarga, la red hídrica y la capa de manantiales que corresponde a la capa de los nudos de intersección de los ríos. Como resultado se obtuvo la capa del cauce principal con su respectiva longitud y para determinar la sinuosidad fue necesario medir la distancia en línea recta desde el sitio más lejano de la cuenca hasta la salida del caudal.

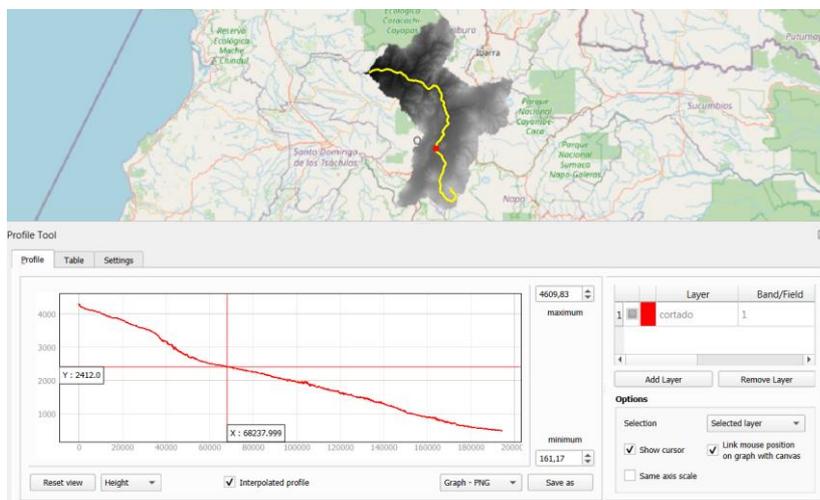
Figura 12. Funcionamiento “Watershed_extract_main_channel”



Fuente: QGis3.30.1

- Para encontrar la inclinación del río principal se graficó el perfil del río mediante el complemento de QGIS Profile tool, terrain profile. Esta herramienta acorde se indica en la Figura 13 permite realizar un corte longitudinal del cauce principal ingresando la imagen de elevación de la cuenca y la capa del cauce principal; estos valores de coordenadas en X y Y se exportan a una hoja de cálculo y se grafica el perfil del terreno, siendo X la longitud y Y la elevación.

Figura 13. Funcionamiento Watershed_extract_main_channel”

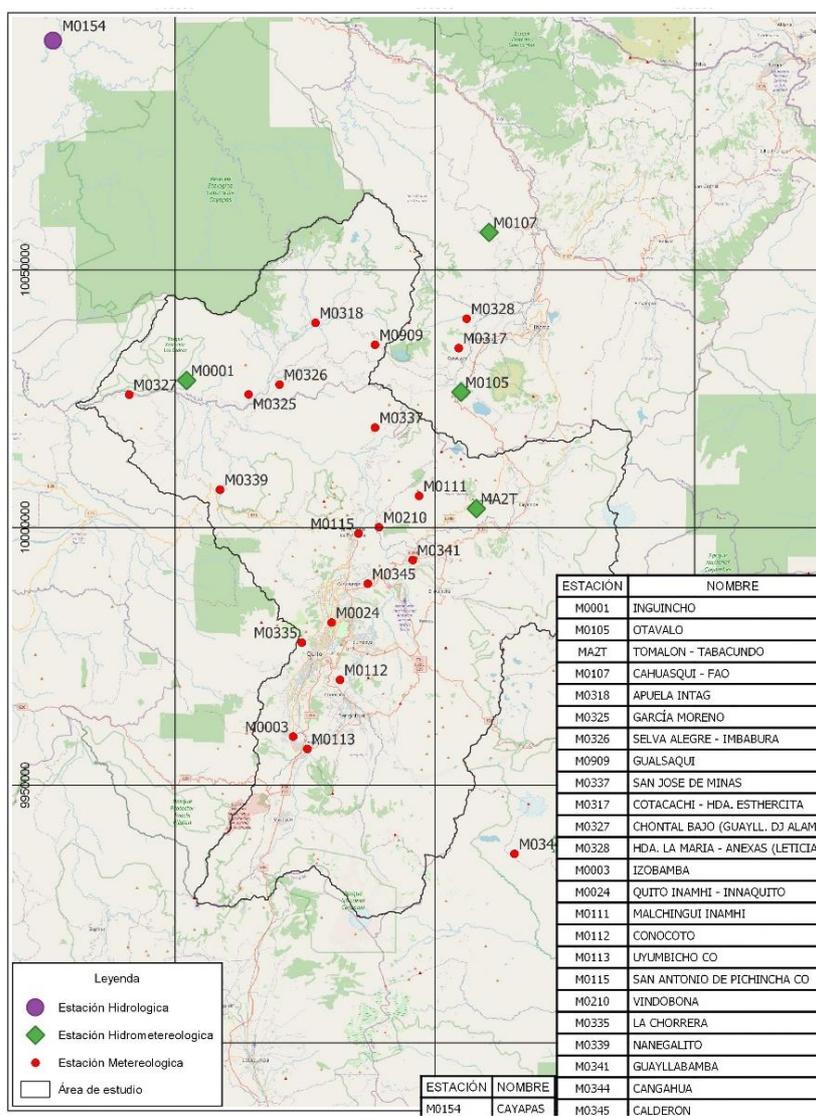


Fuente: QGis3.30.1

5.2.2. ESTACIONES METEOROLÓGICAS

Una vez establecido el trazado de la cuenca es importante localizar estaciones meteorológicas e hidrológicas dentro o cerca del área a intervenir, considerando además que las mismas dispongan de información histórica de precipitación y temperatura. En la Figura 14 se identifica las estaciones que benefician al desarrollo del estudio, donde la estación M0154 se presenta como la más distante con respecto al área de estudio; se considera a las estaciones hidrológicas aquellas que se utilizarán para obtener datos de temperatura, las estaciones hidrometeorológicas aquellas que tienen datos de precipitación y temperatura; mientras las estaciones meteorológicas se emplearán para el uso netamente de precipitación.

Figura 14. Ubicación de estaciones hidrometeorológicas



Fuente: QGIS3.30.1

5.2.2.1. Validación de datos

Al revisar la información que nos proporciona la biblioteca virtual del INHAMI, datos facilitados por CELEC y resultados de trabajos investigativos sobre las estaciones meteorológicas propuestas, se puede evidenciar que las mismas se encuentran incompletas, por tanto, previo a realizar cualquier evaluación hidrológica es necesario el relleno y validación de datos, para esto, se empleó la aplicación RStudio que corresponde a un escenario que facilita el desarrollo mediante programación R.

Se dispone entonces de un script denominado *“homogenizar_datos_climaticos. R”* facilitado por el autor Ing. Christian Domínguez director y docente de la Maestría en Sistemas Hidráulicos Urbanos de Abastecimiento y Protección, para realizar el tratamiento de series de precipitación y temperatura media mensual (Anexo 2). Este script trabaja en base a funciones de su autoría para el funcionamiento.

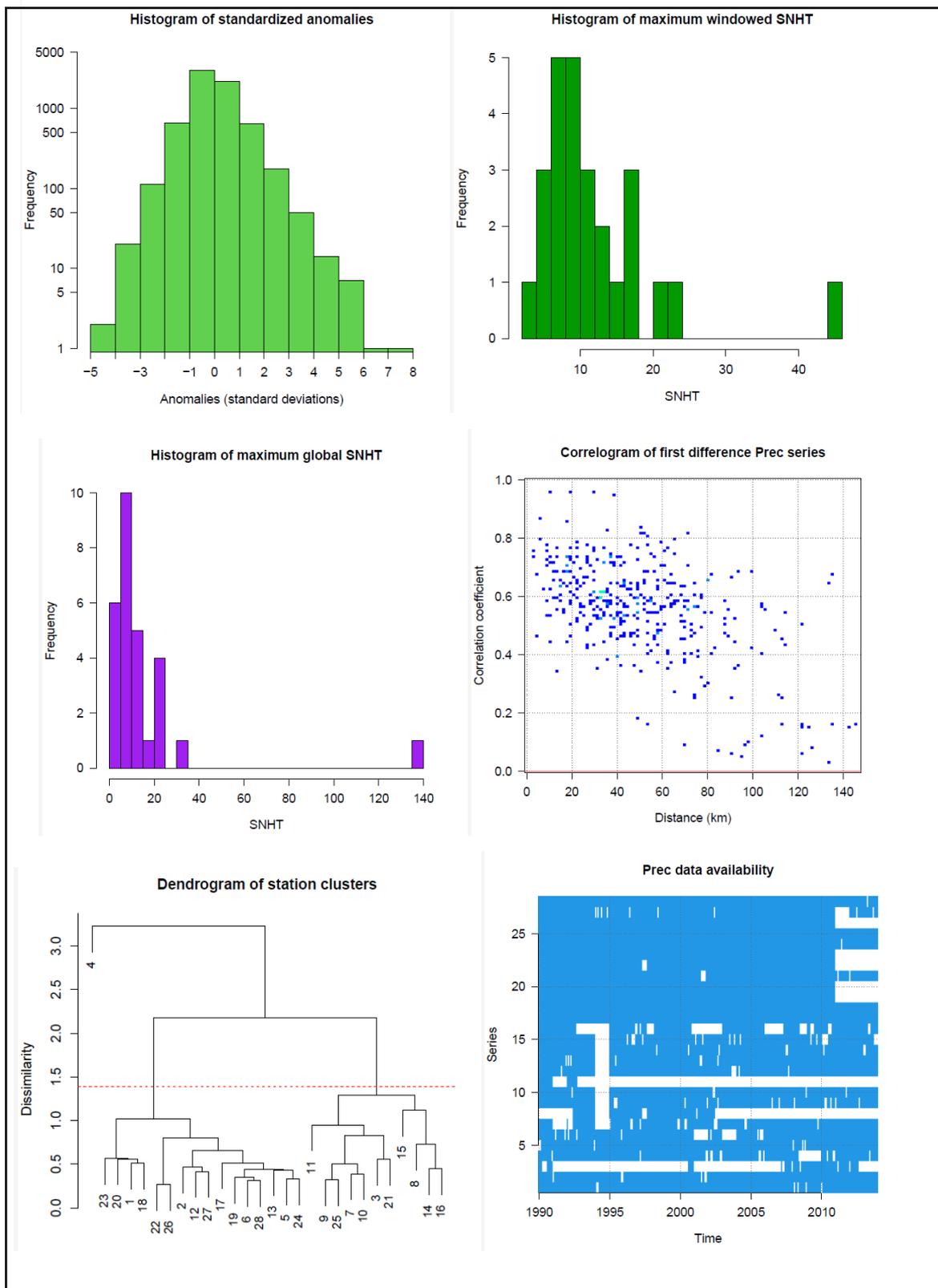
El programa consiste en cargar como dato de entrada un archivo de formato .xlsx, donde se tenga una hoja de nombre *“Coordenadas”* en la que se localice como bien se menciona, las coordenadas de las estaciones mediante una tabla de 6 columnas: X, Y, Z, CODE, NAME, TIPO; lo que corresponde a la coordenada de abscisa UTM, ordenada UTM, elevación, código de las estaciones (4 dígitos o nombre especial) y el tipo de estación. El archivo debe constar además de otra hoja de nombre *“precipitación_mensual”* o *“temperatura_mensual”* según corresponda, en la que se disponga datos de precipitación o temperatura media mensual acorde a las estaciones que se van a utilizar, se debe contar con una columna con la fecha (año/mes/01 00:00:00) y n columnas con los datos de precipitación o temperatura mensual de cada una de las estaciones, como cabecera de la columna se coloca el código de cada estación. También es necesario cargar el modelo digital de la cuenca en coordenadas UTM.

Se emplea como herramienta principal para el tratamiento de datos la librería “*climatol*”, la cual tiene como objetivo realizar la homogenización y relleno de datos; sin embargo, se requiere que previamente los datos sean transformados a un formato especial para el funcionamiento de la librería, para lo cual, el script utiliza la función “*create_data_homogen*”.

Una vez que se dispone de esta información se realiza la homogenización previa de datos mediante la función “*homogen*”, esto permite proyectar los resultados y determinar si existen estaciones que bien sean por su mínima cantidad de datos, lejanía en comparación con otras o falta de compaginidad requieren ser omitidas de los cálculos. Habiéndose corrido esta función se obtiene un reporte de *climatol*, de aquí entre varios resultados a utilizar dentro del script, se determina que estaciones carecen de datos; la correlación de datos en función a la distancia (valor de distancia hasta el cual se acepta el peso para el relleno de datos, considerando que una relación buena es mayor a 0,7 y regular igual a 0,40); dendograma de estaciones (grado de relación entre estaciones); gráficos de estandarización por estación (dato de análisis menos la media y dividido para la desviación estándar); histograma de anomalías normalizadas (permite determinar el grado de dispersión); histograma del máximo valor resultado del Test of the Standard Normal Homogeneity (SNHT) e histograma del máximo global SNHT.

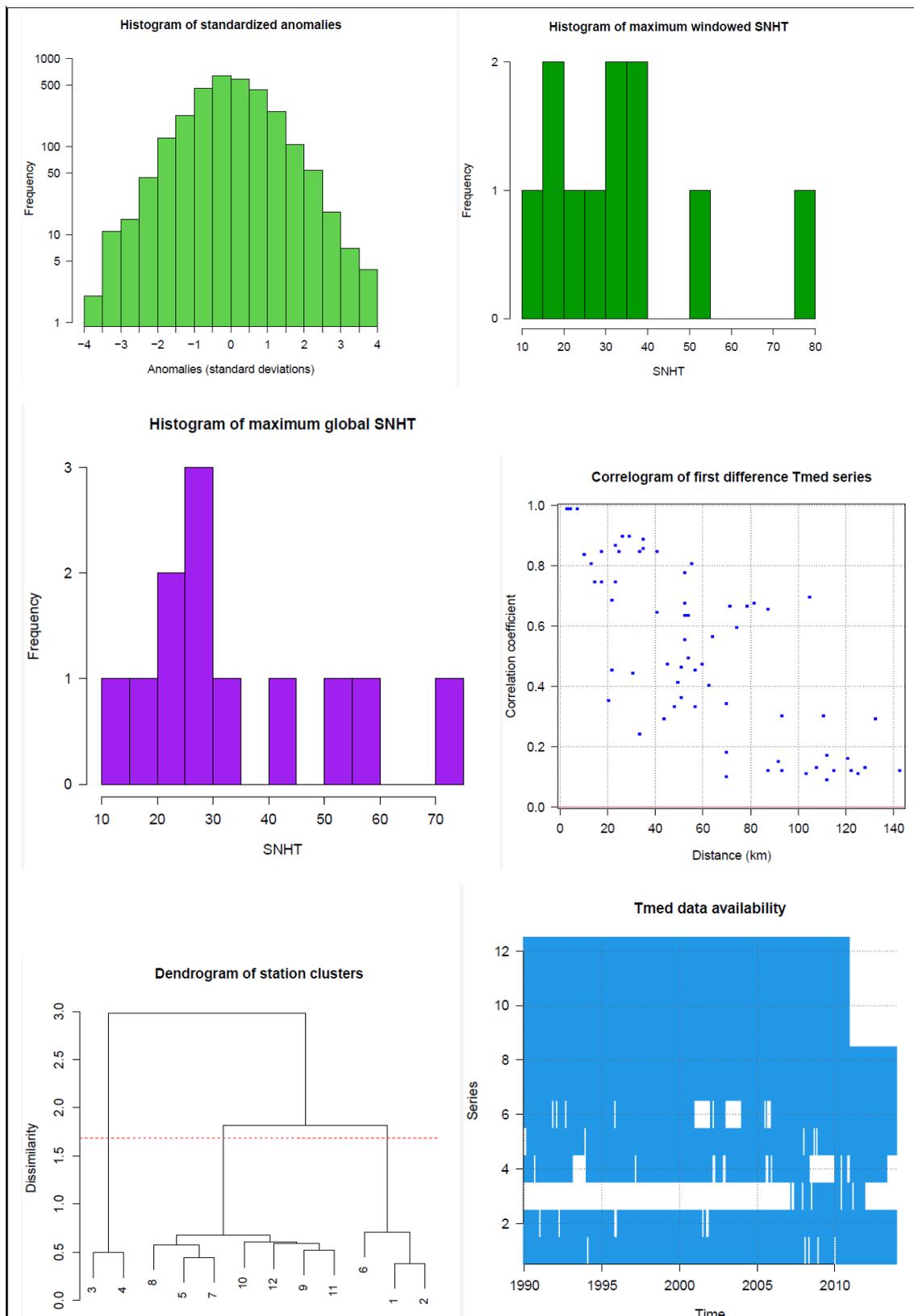
Los parámetros analizados durante la homogenización previa ingresan al script para una homogenización definitiva; entre estas variables se tiene las estaciones que no se van a utilizar (si existe); valor de la máxima anomalía normalizada permitida; tipo de transformación de datos, 2 para precipitación y 3 para otro tipo de dato; máximo valor SNHT para ventanas solapadas; máximo valor SNHT global; número de datos usados para ventanas solapadas y peso de correlación admitido, donde el relleno de datos se reducirá a la mitad. Conforme se muestra en la Figura 15 y Figura 16, se tiene en la Tabla 6 los parámetros requeridos para la homogenización de la serie de datos de precipitación y temperatura del estudio, considerando 48 como número para las ventanas solapadas y un análisis de 1990 a 2013.

Figura 15. Gráficos estadísticos para calibración series de precipitación



Fuente: R-Studio, script "homogenizar_datos_climaticos.R"

Figura 16. Gráficos estadísticos para calibración series de temperatura



Fuente: R-Studio, script "homogenizar_datos_climaticos.R"

Tabla 6. *Parámetros para homogenizar series de precipitación y temperatura*

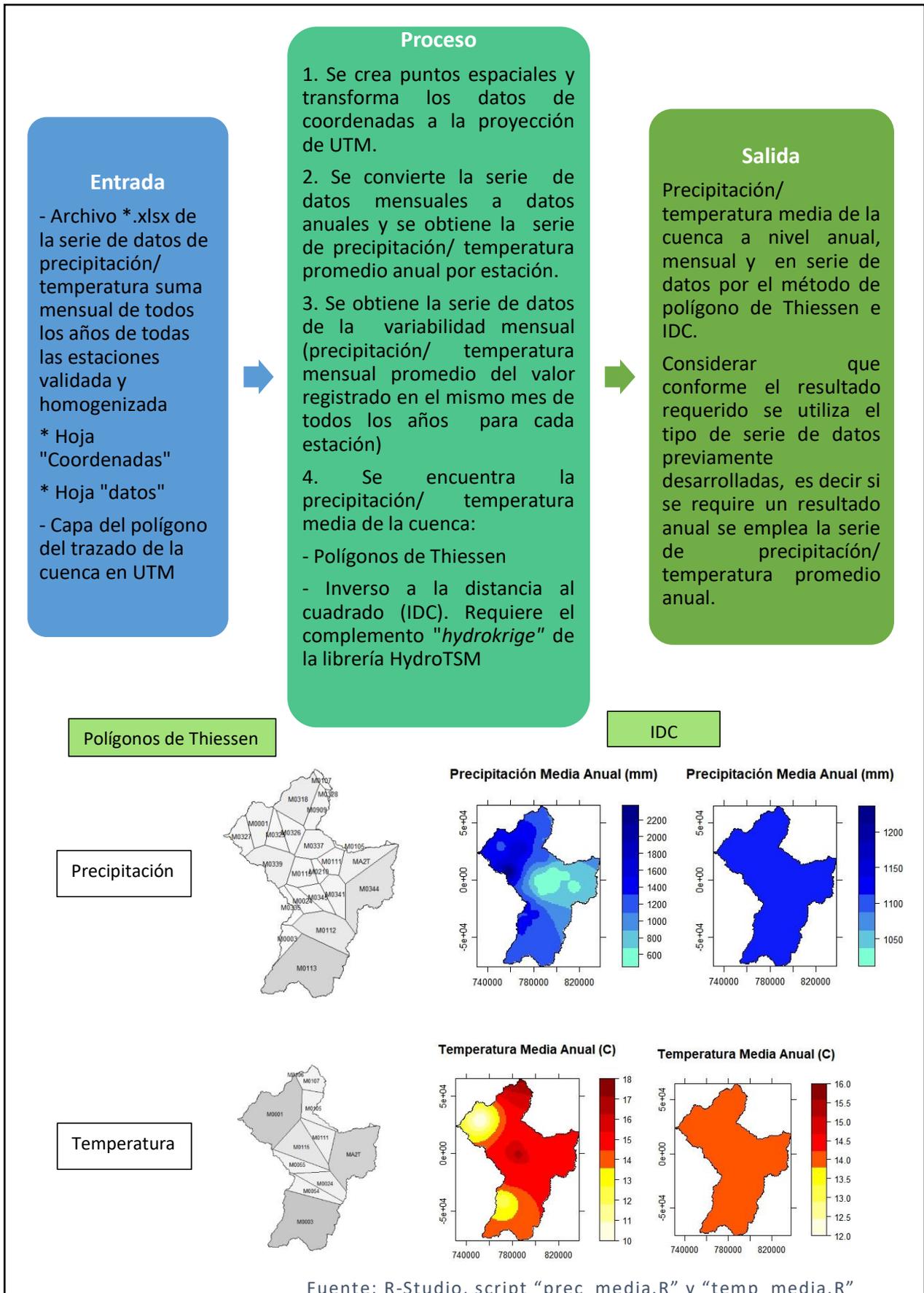
Parámetro	Precipitación	Temperatura
Máximo valor de anomalías permitido	6	4
Máximo SNHT para ventanas solapadas	25	45
Máximo SNHT para todo el periodo	40	65
Pesos usados por correlación	60	60

Al correr el script con estos nuevos parámetros se obtiene un nuevo documento resumen de climatol con la homogenización definitiva de los datos, de considerarse óptimo el tratamiento entonces, se exporta los resultados *.rda a un archivo *.xlsx, en este documento para aquellas estaciones que se dividieron por su número SNHT se van a mostrar resultados igual al número de separaciones existentes, de aquí se debe seleccionar cual es la menos variable y de mayor cantidad de datos para tomarla como definitiva para esa estación dividida.

5.2.3. PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA MEDIA DE LA CUENCA

Para determinar la temperatura y precipitación media de la cuenca se optó por utilizar las metodologías consideradas las más comprensibles y robustas, estas fueron Polígonos de Thiessen y el inverso de la distancia al cuadrado (IDC). Para el desarrollo de estos procedimientos se utilizó scripts de Rstudio facilitados por el autor Ing. Christian Domínguez director y docente de la Maestría en Sistemas Hidráulicos Urbanos de Abastecimiento y Protección, denominados “*prec_media.R*” y “*temp_media.R*” (Anexo 2), ambos requieren como librería principal HydroTSM para procesos hidrológicos y la función “*prec_media_functions.R*”. El proceso resumido de ambos scripts se mencionan en la Figura 17.

Figura 17. Proceso script "prec_media.R" y "temp_media.R"

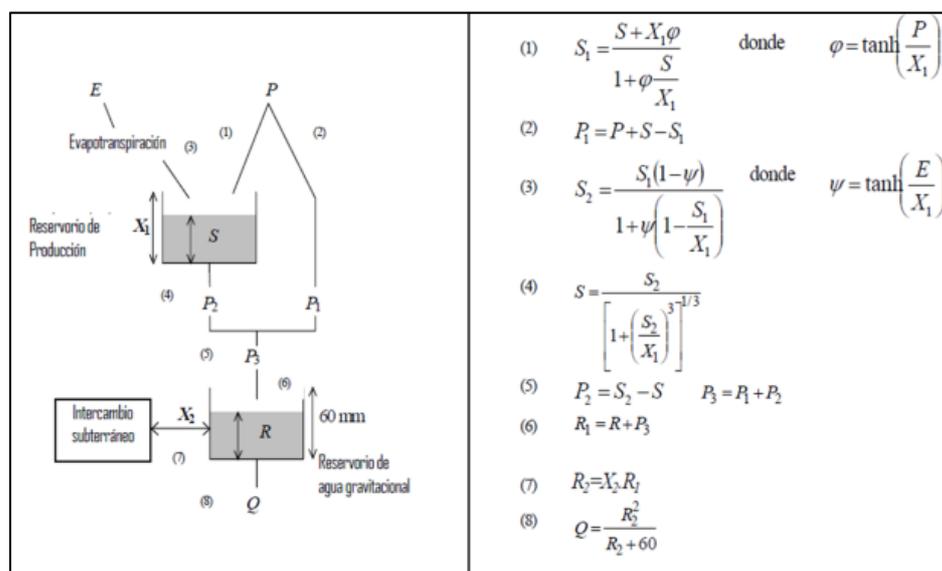


5.2.4. CAUDAL HIDROLÓGICO

Se realizó un modelo hidrológico de la cuenca, considerando como entrada a la precipitación media y la evapotranspiración de la cuenca que a su vez depende principalmente de la temperatura de esta. Se empleó el script “*model_GR2M*” facilitado por el autor Ing. Christian Domínguez director y docente de la Maestría en Sistemas Hidráulicos Urbanos de Abastecimiento y Protección, el funcionamiento de este script se detalla en la Figura 19 y se tiene el mismo en el Anexo 2.

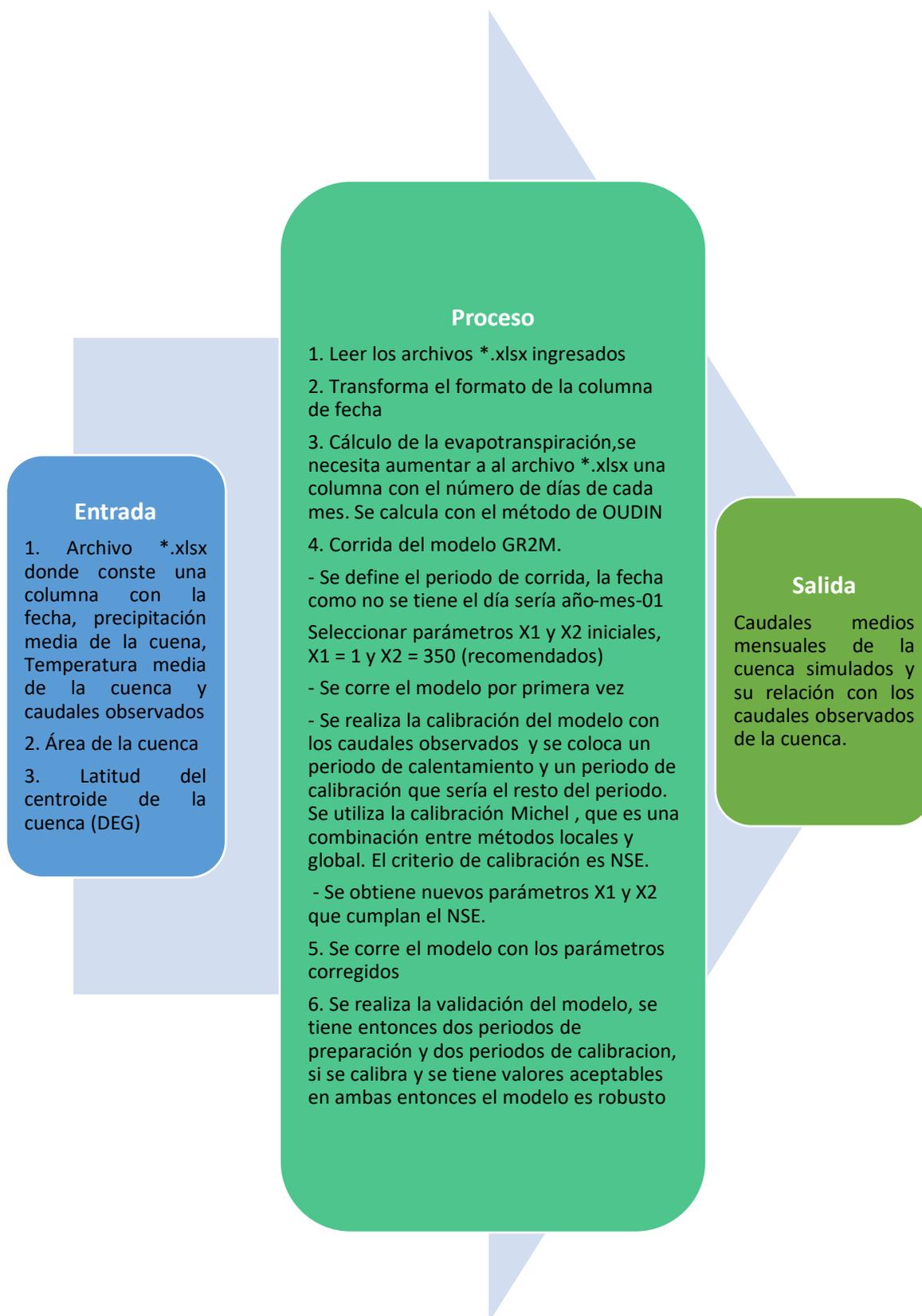
El modelo de ingeniería rural de 2 parámetros a nivel mensual (GR2M), ver Figura 18, fue desarrollado por el CEMAGREF (Centro de Investigación Agrícola e Ingeniería Ambiental de Francia), en base a datos de temperatura y precipitación es capaz mediante funciones de producción y transferencia reconstruir caudales. Su procedimiento base consiste en un sistema de reservorios que hace énfasis en el tanque de producción (proceso de balance hídrico) y un reservorio conformado por agua del sistema de gravedad que gobierna la función de transferencia; es necesario contar con dos parámetros X_1 que representa la cabida máxima del depósito de producción y el segundo un X_2 que corresponde al intercambio subterráneo en el tanque de agua de gravedad (Rincon Achury, 2019).

Figura 18. Arquitectura modelo GR2M



Fuente: (Arevalo, 2011)

Figura 19. Proceso Script "model_GR2M"



Para la modelación hidrológica G2RM, los datos observados fueron los caudales medios mensuales en el punto de toma de la presa Manduriacu, estos valores conforme (HidroEquinoccio, 2011b) fueron obtenidos en función a los registros de las estaciones M0327 - Guayllabamba DJ Alambi y H0147 - Guayllabamba DJ Pachijal, evaluado a partir de lluvias anuales obtenidas mediante isoyetas anuales y en función a las áreas de drenaje respectivas. Se tiene en la Tabla 7, el resumen de los datos a emplear para evaluar mediante la ecuación EC. (1) el caudal en el punto de toma de la Central Hidroeléctrica Manduriacu, ecuación desarrollada por parte de la empresa consultora a cargo de su diseño.

$$Q_{M1A} = Q_{GDJA} + (Q_{GDJP} - Q_{GDJA}) * C_{\text{áreas}} * C_{\text{lluvias}} \quad (EC. 1)$$

$$C_{\text{áreas}} = \frac{A_{i1}}{A_{i1} + A_{i2}}$$

$$C_{\text{lluvias}} = \frac{P_{i1}}{P_i}$$

Donde,

Q_{GDJA} : Caudal en la estación Guayllabamba DJ Alambi

Q_{GDJP} : Caudal en la estación Guayllabamba DJ Pachijal

P_{i1} : Lluvia sobre el área A_{t1}

P_i : Lluvia sobre el área A_t

A_i : Área intermedia entre las dos estaciones

A_{i1} : Área comprendida entre la estación M0327 y la presa Manduriacu

A_{i2} : Área entre el sitio de la presa y la estación DJ Pachijal

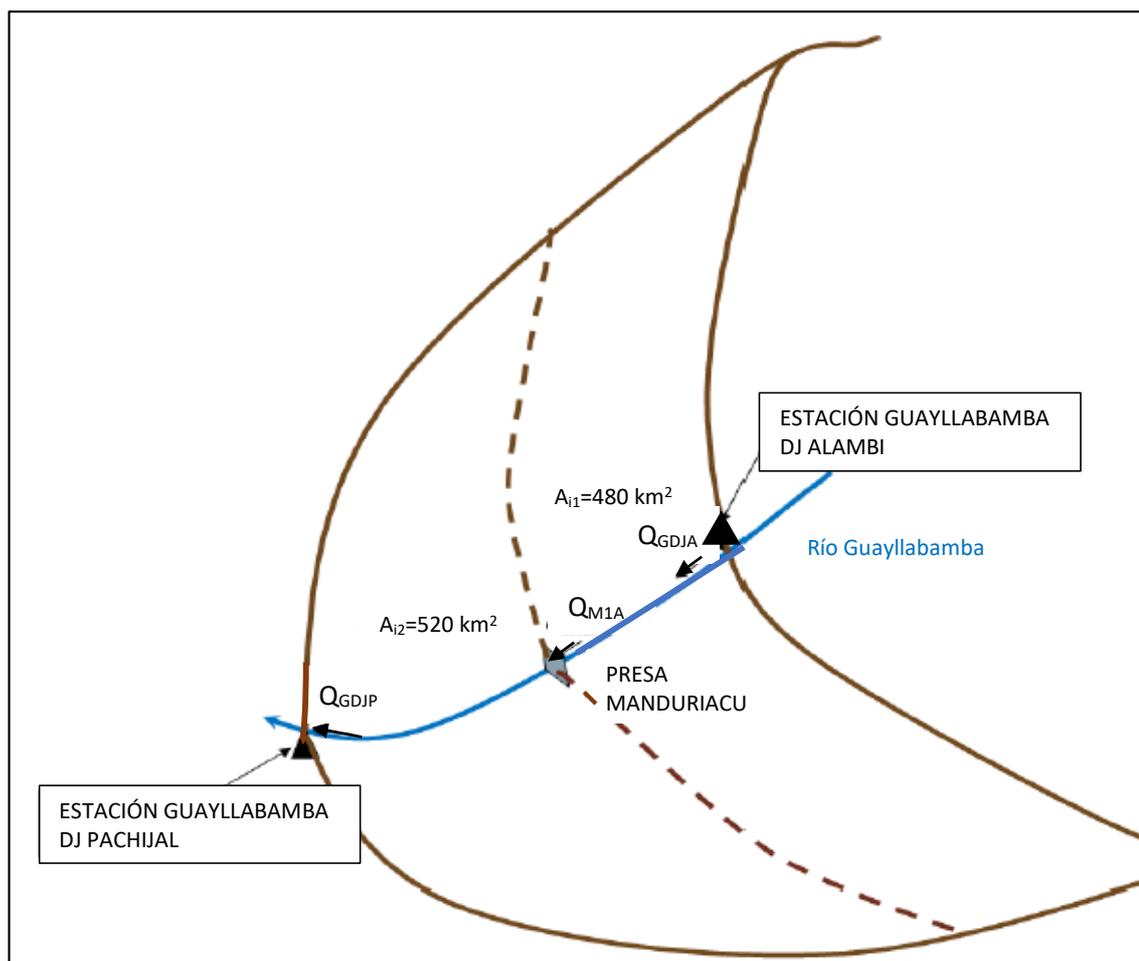
Tabla 7. Variables de la ecuación de caudales en el sitio de toma Manduriacu

Variable	Símbolo	Valor
Área intermedia entre estaciones	A_i	$7500 - 6500 = 1000 \text{ km}^2$
Área comprendida entre la estación M0327 y la presa Manduriacu	A_{i1}	480 km^2
Área entre el sitio de la presa Manduriacu y la estación DJ Pachijal	A_{i2}	520 km^2
Coficiente de áreas	$C_{\text{áreas}}$	$480/1000 = 0,48$
Coficiente de lluvias	C_{lluvias}	$(2650)/(3000) = 0,88$

Fuente: (HidroEquinoccio, 2011b)

En la Figura 20, a fin de una mejor comprensión del proceso llevado a cabo para determinar los caudales observados, se representa la ubicación de los puntos a intervenir y sus respectivas áreas ponderadas entre estaciones, siendo el punto medio la presa Hidroeléctrica Manduriacu.

Figura 20. Diagrama para caudales en el punto de toma Manduriacu



Fuente:(HidroEquinoccio, 2011b)

Con estos resultados se tiene a la ecuación EC.2 para determinar los caudales anuales medios en el sitio del proyecto Manduriacu, según lo menciona el estudio de factibilidad avanzada del diseño.

$$Q_{M1A} = Q_{GDJA} + (Q_{GDJP} - Q_{GDJA}) * 0.48 * 0.88 \quad (EC. 2)$$
$$Q_{M1A} = 0.58Q_{GDJA} + 0.52Q_{GDJP}$$

A fin de validar el modelo hidrológico desarrollado se consideró el rendimiento basado en la teoría de eficiencia Nash – Sutcliffe (NSE) cuyos rangos de evaluación se muestran en la Tabla 8; este valor tiende del menos infinito a 1, mientras más cercano a 1 mejor performance. Relaciona la varianza del modelo con la varianza de las observaciones.

$$NSE = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y^{mean})^2} \right] \quad (EC. 3)$$

Fuente: (Moriassi et al., 2007)

Tabla 8. Rangos de rendimiento NSE

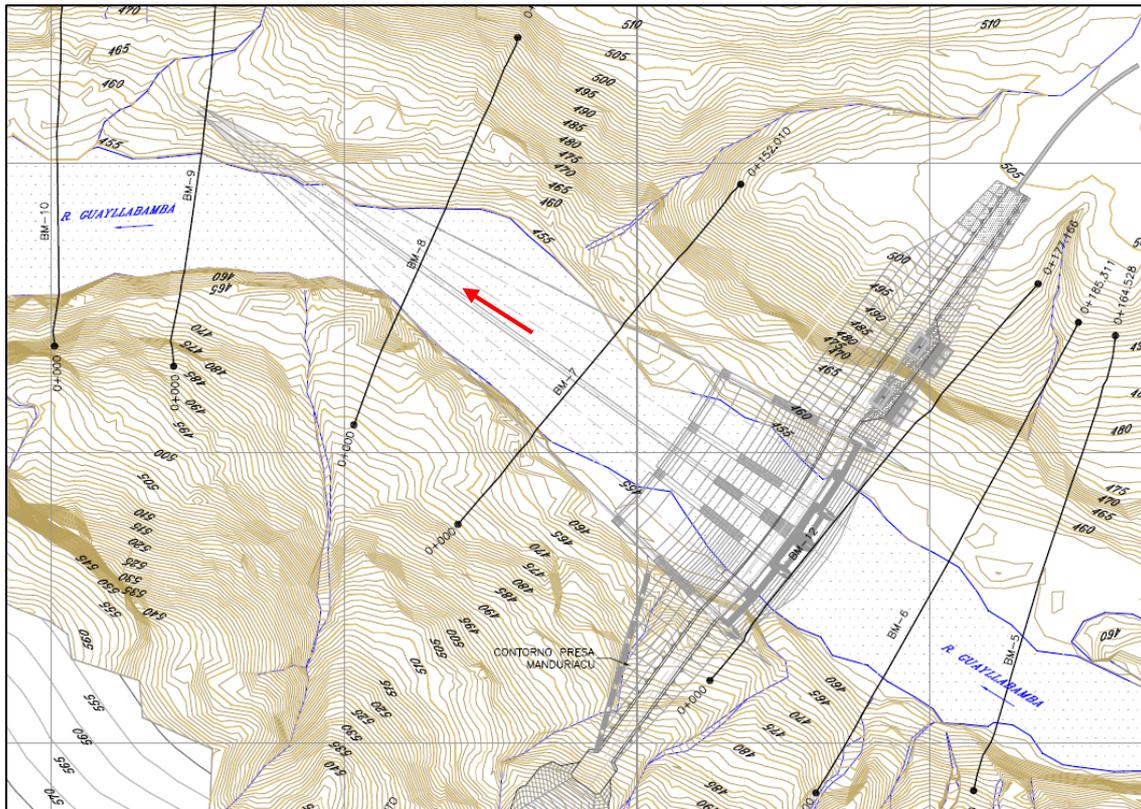
Rango de Performance	NSE
Muy buena	0.65 < NSE ≤ 1.00
Buena	0.55 < NSE ≤ 0.65
Satisfactorio	0.40 < NSE ≤ 0.55
Insatisfactorio	NSE ≤ 0.40

Fuente: (Moriassi et al., 2007)

5.2.5. CAUDAL HIDRÁULICO

Para determinar el caudal mediante esta metodología es importante tener en cuenta tres factores de evaluación que son: perímetro mojado, velocidad y profundidad; entonces bajo esta perspectiva se realizó mediciones en sitio y se recopiló datos sobre el levantamiento de campo realizado a lo largo de los años en los puntos de interés. En la Figura 21, se identifica la ubicación de la presa y el tramo del cauce correspondiente a su descarga, donde se tiene cuatro secciones; denominadas BM-7, BM-8, BM-9, y BM-10; siendo la orientación del cauce desde el punto de inicio BM-7 el punto de inicio hacia el punto final del tramo en la sección BM-10.

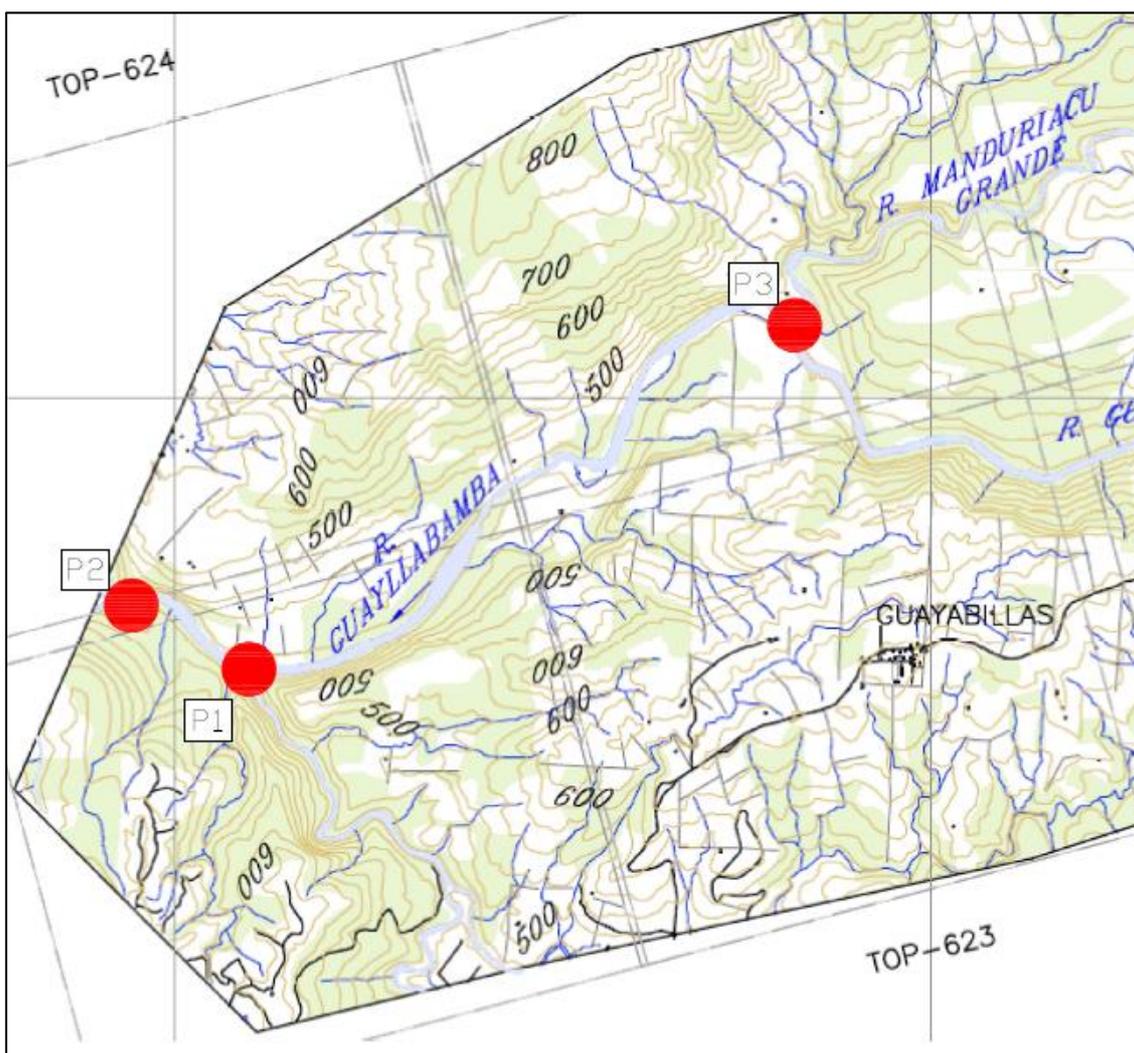
Figura 21. Ubicación de secciones BM-7 a la BM-9, tramo de descarga presa Manduriacu



Fuente: (HidroEquinoccio, 2011a)

En el Anexo 3, se tiene láminas a mayor detalle de la ubicación de los puntos que intervienen en el análisis hidráulico del estudio, donde se puede visualizar que en el punto que precisa la salida inmediata de la presa Manduriacu, sección BM-9, no se tiene accesibilidad para realizar las respectivas mediciones, y al ser este el sitio de interés, se optó por evaluar el caudal bajo otra metodología; la cual debido a que se considera que el caudal proveniente de la descarga de la presa Manduriacu sería igual al que llega a la estación Guayllabamba DJ Pachijal restando las afluencias tanto del río Pachijal como del Manduriacu, consistió en realizar las mediciones de velocidad y profundidad en el puente ubicado a 200 m aguas arriba de la estación Guayllabamba DJ Pachijal (P2), en el punto de la estación Pachijal DJ Guayllabamba (P1) y en la estación del río Manduriacu (P3), puntos que se visualizan en la Figura 22 y con mayor detalle en la lámina del Anexo 3.

Figura 22. Ubicación de puntos P1, P2 y P3 para la toma de muestras.



Fuente: (HidroEquinoccio, 2011a)

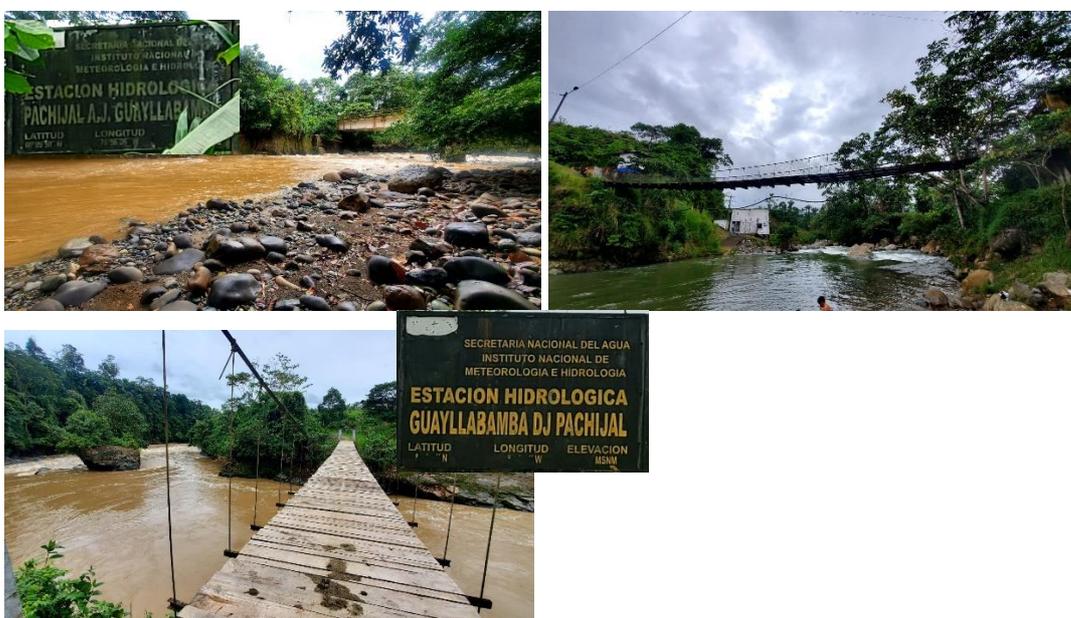
Con fecha de 25 de marzo de 2024 (fecha autorizada por CELEC para ingresar a Manduriacu) se realizó mediciones en los puntos (P) previamente mencionados, el día estuvo nublado y la represa Manduriacu mantenía abierta una sola compuerta; así como, en funcionamiento una sola turbina; además el embalse mantenía un volumen de agua turbia y sedimentada. Se restringió la toma de datos a esta fecha en específico debido a la dificultad para tramitar el ingreso a la represa Manduriacu, la condición desfavorable en las vías de acceso a los diferentes puntos, presencia de derrumbes, deslizamientos en la zona y situaciones de lluvias intensas que complicaba la toma de datos; no obstante, bajo esta limitante se fortaleció la toma de datos con recopilación de datos históricos obtenidos de la empresa CELEC desde el año de 1989 al 2011, datos que permiten el desarrollo adecuado del proyecto.

En la Figura 23, a manera de identificar estos puntos de toma se muestra los sitios en los que se ejecutó dichas mediciones.

Se recopiló datos de ancho del río, profundidad del agua cada 2 m, elevación en el punto de toma, medición limnimétrica (en estaciones) y velocidad del río considerando un tramo determinado del mismo (Anexo 4).

Con estos valores de mediciones hidrométricas y morfométricas para cada uno de los ríos en donde se realizó la toma, se obtuvo su respectivo caudal y restando el caudal de P3 y P1 de P2, se obtuvo la resultante del caudal de descarga de la presa Manduriacu.

Figura 23. Sitios para la toma de datos.



Para llegar a obtener estos valores de Q_i , se abordó el siguiente procedimiento:

1. Se trazó el perímetro mojado de la sección del río y con ello se obtuvo el área por zonas; una inicial, una intermedia y una final.
2. Se determinó las velocidades en cada una de las zonas
3. Se multiplicó el área de cada zona por su respectiva velocidad y se hizo una sumatoria de cada uno de estos resultados, dando un valor total de caudal.

$$Q = \sum_{i=1}^n v_i x a_i$$

Q: caudal (m³/s)

v_i: velocidad en cada tramo i (m/s)

a_i: área en cada tramo i

Además, por la dificultad de las medidas en campo se recopiló datos de mediciones realizadas desde el año de 1989 hasta 2011 con intermitencias, realizadas por CELEC y datos históricos del INHAMI, estos datos se visualizan en la Tabla 9.

Tabla 9. Valores de caudal y perímetro mojado. Datos en sitio

ESTACIÓN	FECHA	Q	P	
		(m ³ /s)	(m)	
DJ ALAMBI H-146	1989	19-Jun	143,90	31,49
		08-Dic	47,20	30,16
	1990	13-Jul	99,10	29,71
		14-Jul	94,7	29,35
	1991	12-Mar	179,00	29,62
		12-Mar	176,00	30,93
		11-May	117,10	80,45
	1992	29-Oct	41,70	28,51
		30-Oct	50,70	29,64
		18-Mar	90,90	31,20
		19-Mar	103,00	31,70
	1993	25-ADr	228,60	33,58
		16-Jun	93,60	32,06
	1994	16-Mar	136,50	29,75
		27-May	164,00	32,78
	2005	29-Jul	94,00	30,64
		12-Sep	64,00	25,63
	2010	Septiembre	50,96	27,08
		Octubre	52,93	27,02
		Noviembre	52,29	27,01
Diciembre		173,30	28,34	
2011	Enero	266,20	31,53	
	Febrero	300,30	31,70	
GUAYLLABAMBA DJ PACHIJAL H-147	2010	Septiembre	72,66	55,72
		Octubre	68,65	53,84
		Noviembre	63,27	53,78
		Diciembre	250,10	58,31
		Enero	402,00	63,31
2011	Febrero	422,40	64,36	
	2010	Septiembre	4,96	20,11
Octubre		4,24	20,06	
Noviembre		2,88	17,98	
Diciembre		13,44	22,40	
2011	Enero	34,09	25,21	
	Febrero	35,57	26,97	

Fuente: (HidroEquinoccio, 2011a)

Sin embargo, a pesar de toda esta información aún se requiere conocer el caudal en el punto exacto donde sale el caudal de la presa, sección BM-9, por tanto, se realizó una simulación en el programa HEC-RAS del tramo comprendido entre la salida de la presa y 1.231,00 m aguas abajo (ver el modelo en el Anexo 5).

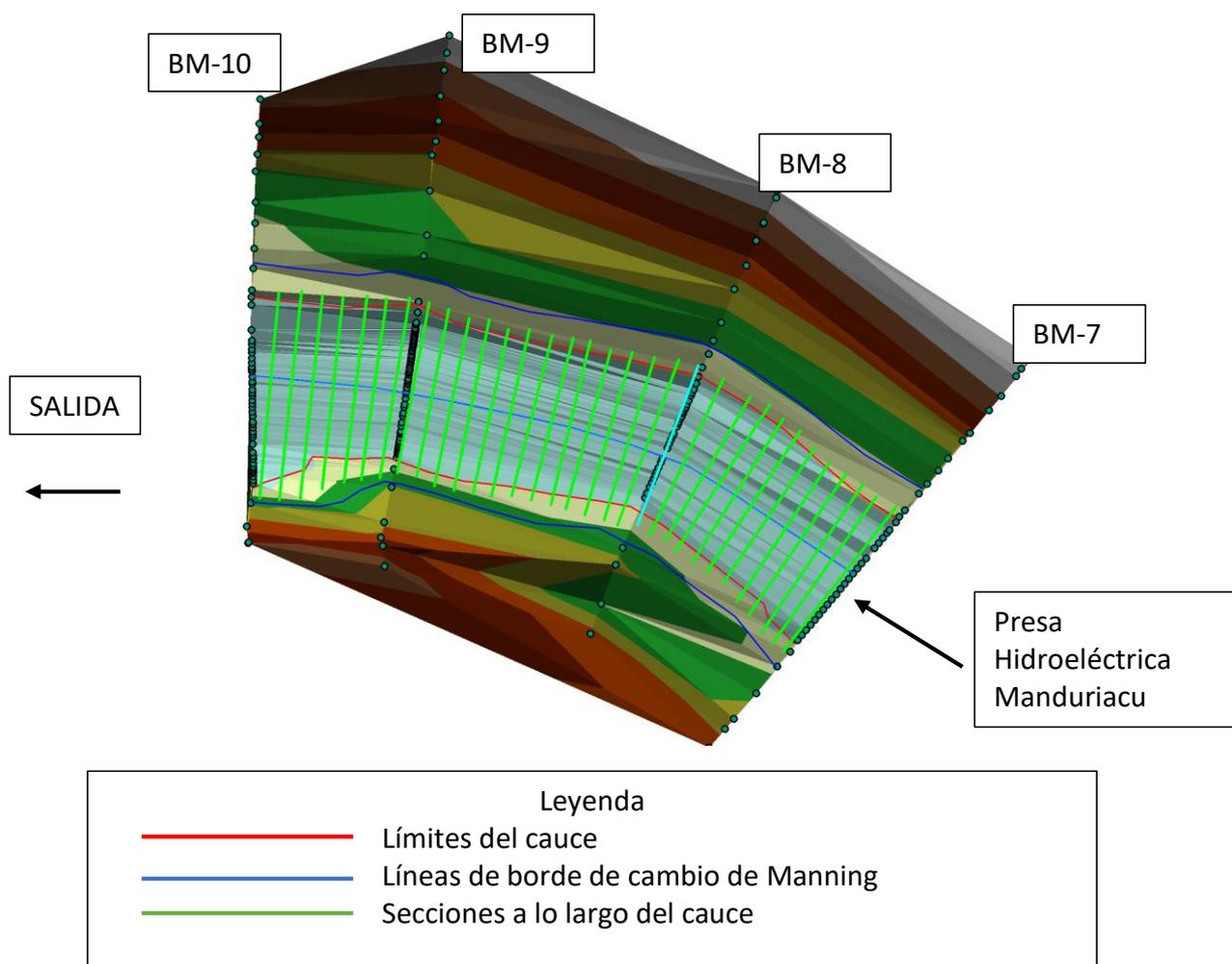
HEC – RAS es un programa de modelación hidráulica numérica que facilita realizar análisis del flujo permanente y no permanente de por ejemplo cauces abiertos, ríos y canales artificiales.

Previo a la simulación en el software HEC-RAS, es importante contar con el sistema de elevación del terreno que se va a modelar, a partir de la cual se genera una imagen de elevación satelital; generalmente, la topografía se obtiene mediante sistemas de mapeo con imágenes de la NASA; sin embargo, para este estudio en particular, la zona que se requiere mantiene una topografía burda y no confiable en su totalidad en dichas imágenes, de tal modo que se optó por realizar el modelo de elevación en base a los puntos topográficos de los perfiles de batimetría BM-7, BM-8, BM-9 y BM-10, facilitados por la empresa CELEC y cuyos valores fueron levantados durante la etapa de factibilidad avanzada del proyecto. Además, se necesita tratar la geometría del tramo de análisis en un sistema de información geográfica; por lo que, se implementó el software ARCGIS, donde se puede trazar una geometría ras de la línea del cauce, las líneas delimitantes de las secciones con diferente coeficiente de Manning y las del flujo. Con esta información se generó varias secciones a lo largo del tramo del cauce modelado que se interpolaron con el sistema de elevación del terreno, dando como producto la morfología de cada sección propuesta.

Con el modelo de ARCGIS exportado se generó un nuevo proyecto en HEC-RAS para simular caudales en cada sección dentro del tramo modelado, se requiere un nombre y dirección de ubicación dentro del ordenador y se especifique el sistema internacional de medida. A partir de este punto se procedió con lo siguiente:

1. Se importó la geometría tipo GIS del tramo a simular proveniente del modelamiento previo en ARC GIS, tomar en cuenta que las secciones de corte no deben pasar las líneas de borde del flujo y a su vez deben ajustarse a las líneas de banco. En la Figura 24, se tiene la representación gráfica de la geometría del tramo a modelar, en la que se distingue el trazado de los cortes de sección a lo largo del cauce principal representado con líneas verdes, el límite del cauce principal mediante líneas rojas y el límite del cambio de sección de Manning con líneas azules.

Figura 24. Geometría del tramo modelado en ARCGIS



Fuente: Fuente: Autoría propia, modelada en ArcGIS

Se identificó el coeficiente de Manning para todas las secciones del tramo simulado con un valor de 0,05 porque se le considera al cauce de cantos rodados con grandes rocas según las tablas de ayuda propias de HEC-RAS.

Este valor se confirmó mediante el método de Cowman (EC. 5); que se basa en las características físicas del río conforme el material del perímetro, irregularidad del cauce, cambio de la sección transversal, obstrucciones, vegetación y curvatura en planta (Rodríguez et al., 2018); estos coeficientes se tienen en la Tabla 10, y conforme se observa las particularidades físicas de la sección de simulación en la Figura 25, se determinan los coeficientes seleccionados para esta sección en la Tabla 11 .

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) * m_5 \quad (EC. 5)$$

Tabla 10. *Coefficientes de método de Cowman*

Condiciones del canal			Valores
Material considerado	Tierra	n_0	0,020
	Roca portada		0,025
	Grava fina		0,024
	Grava gruesa		0,028
Grado de irregularidad	Liso	n_1	0,000
	Menor		0,005
	Moderado		0,010
	Severo		0,020
Variaciones de la sección transversal del cauce	Gradual	n_2	0,000
	Ocasionalmente alternante		0,005
	Frecuentemente alternante		0,010-0,015
Efecto relativo de obstrucciones	Despreciable	n_3	0,000
	Menor		0,010-0,015
	Apreciable		0,020-0,030
	Severo		0,040-0,060
Vegetación	Baja	n_4	0,005-0,010
	Media		0,010-0,025
	Alta		0,025-0,050
	Muy Alta		0,050-0,100
Cantidad de meandros	Menor	m	1,000
	Apreciable		1,150
	Severa		1,300

Fuente: (Rodríguez et al., 2018)

Figura 25. Sección para simulación



Tabla 11. Coeficientes de Cowman resultantes para la sección simulada

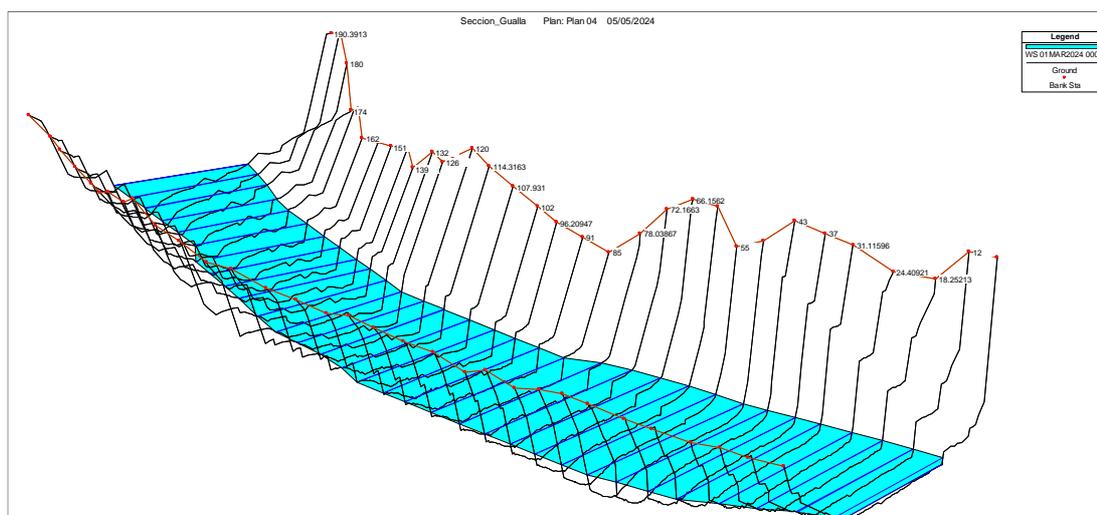
Condiciones del canal	Valor
n_0	0,025
n_1	0,005
n_2	0,005
n_3	0,010
n_4	0,005
m	1,000

$$n = (0,025 + 0,005 + 0,005 + 0,010 + 0,005) * 1.00 = 0,050$$

- Se caracterizó el flujo. Se detalla el hidrograma del modelo, para esto se utilizó los datos de caudales promedios diarios del mes de marzo, abril, mayo y junio recopilados desde 1965 al 2006 del punto de toma (Anexo 6), incluyendo el valor de medición del 25 de marzo de 2024 medida in situ, esto por la falta de mediciones en campo actualizados. En el punto de salida se necesita la pendiente del cauce del río en la sección modelada, siendo esta de 0,125; resultado que se obtuvo de la modelación en ARCGIS.

- Se realizó la simulación, estableciendo el periodo desde el 01 de marzo al 04 de junio del presente año, con intervalos de una hora para el cómputo del hidrograma. En la Figura 26, se tiene una vista isométrica de la simulación de caudales en el tramo de análisis, a partir del cual se puede establecer el caudal en cada una de las secciones de corte, estas son equivalentes al trazado visualizado en la Figura 24, marcado con líneas verdes según la leyenda.

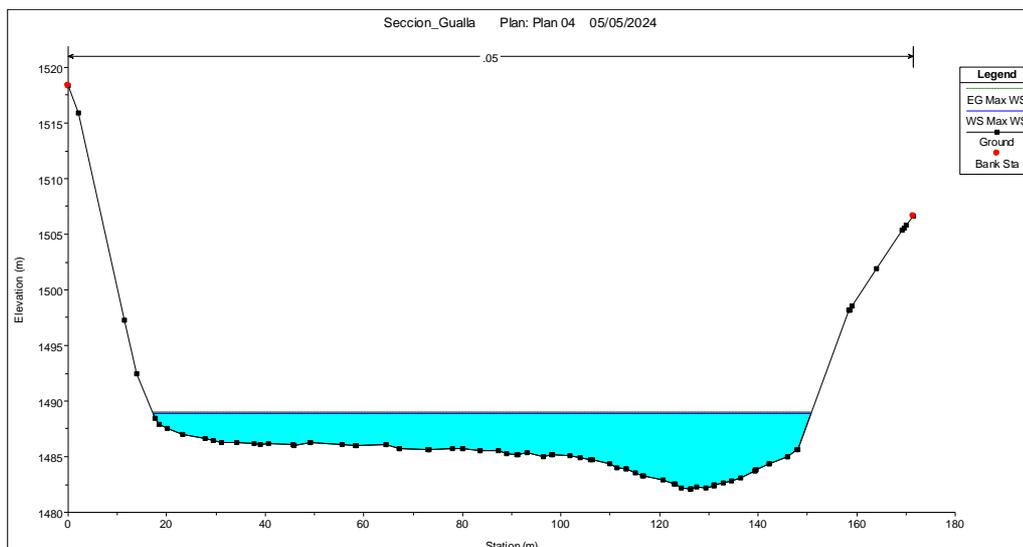
Figura 26. Tramo completo en perspectiva simulada en HEC-RAS



Fuente: Autoría propia, modelada en HEC-RAS

En cada una de las secciones de corte propuestas, se determina el caudal de flujo transitado, velocidad, altura de agua y el desarrollo del flujo en tiempo real conforme las condiciones iniciales; así como se puede observar en el ejemplo de la Figura 27

Figura 27. Sección simulada BM-9 en HEC-RAS



Fuente: Autoría propia, modelada en HEC-RAS

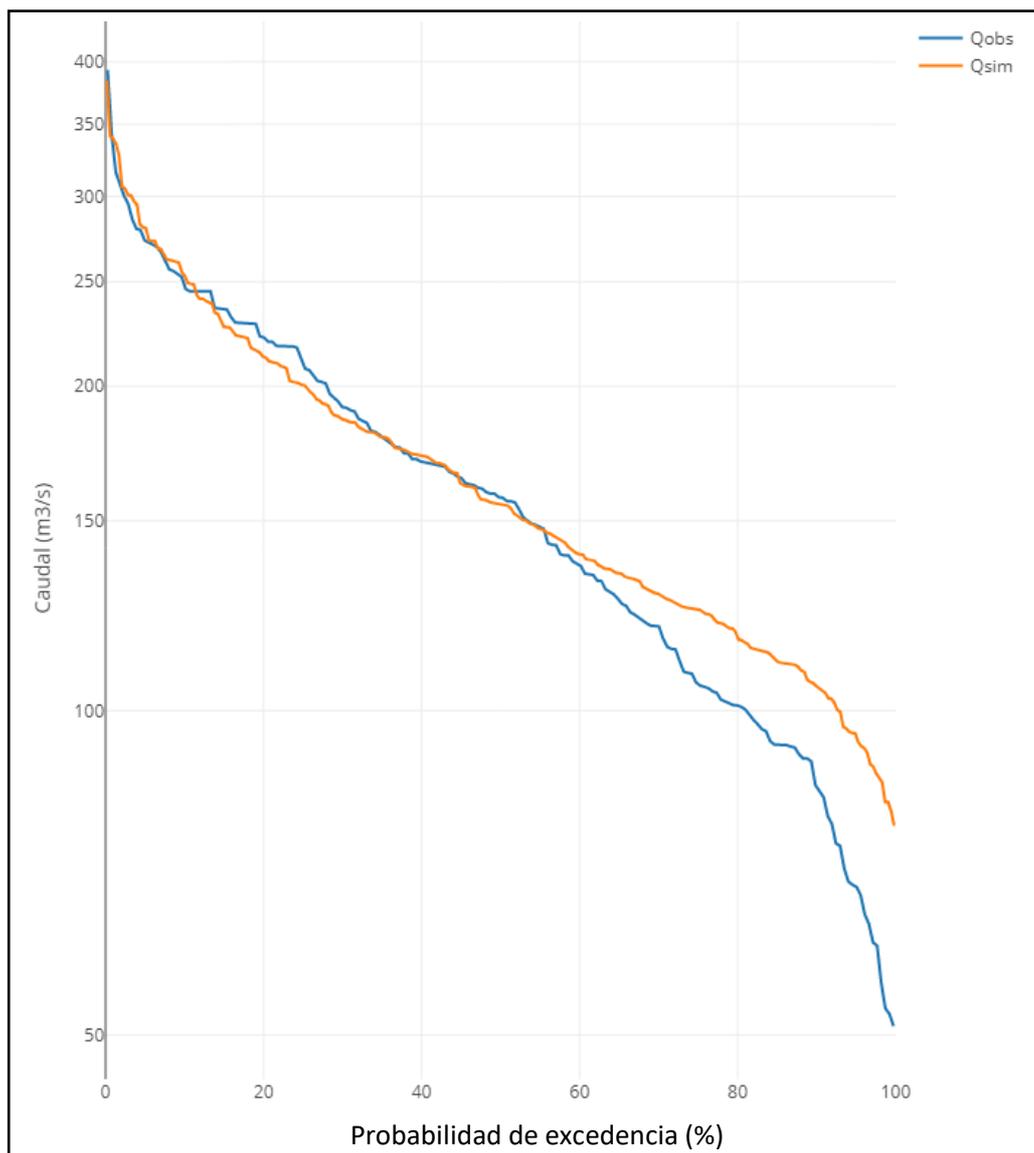
5.2.6. CAUDAL ECOLÓGICO

5.2.6.1. HIDROLÓGICOS

5.2.6.1.1. Hoppe

Para obtener los resultados de caudal ecológico por el método hidrológico de Hoppe, es imprescindible identificar la curva de excedencia de caudales; para el caso se empleó la serie de caudales medios mensuales interanuales de la cuenca, simulados mediante modelación GR2M como se visualiza en la Figura 28, donde además se marca la curva de excedencia con los caudales observados en el punto de toma de Manduriacu, esto para mantener el panorama general con referencia a los datos de simulación utilizados.

Figura 28. Curva de duración, caudales observados y caudales simulados



5.2.6.1.2. *Tennant y Método Ecuatoriano*

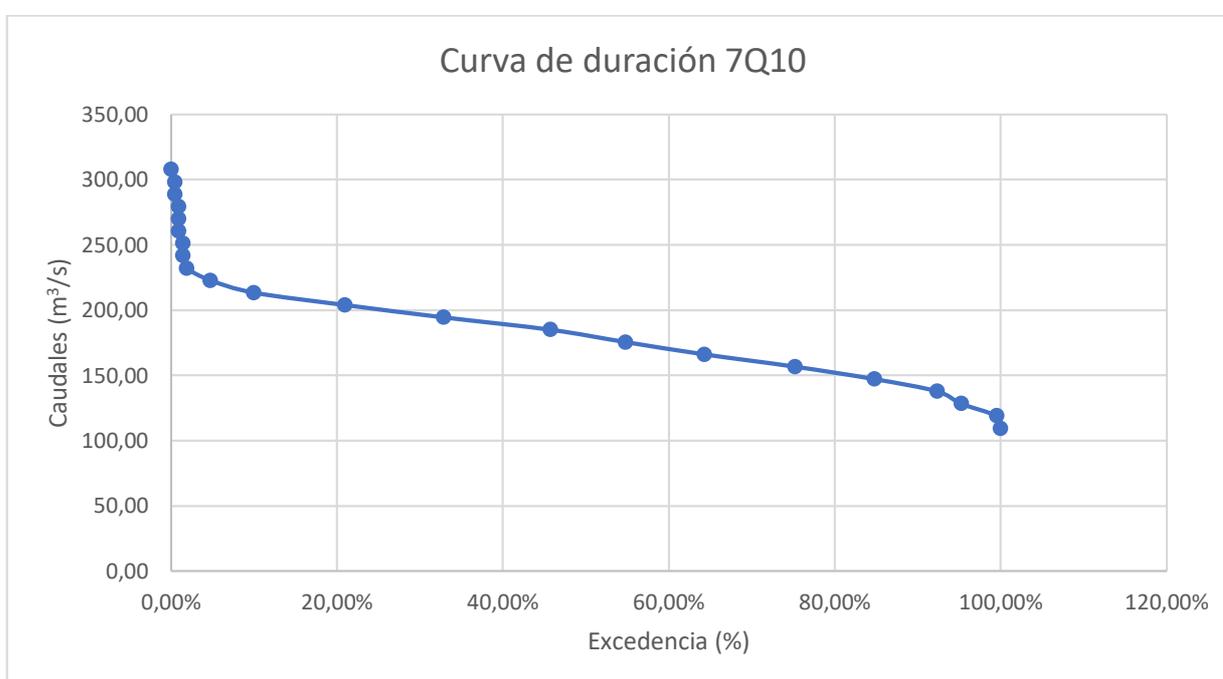
Se establece el valor del caudal promedio anual de toda la cuenca, que para los caudales observados es igual a 157,07 m³/s y para los caudales simulados es de 167,36 m³/s.

5.2.6.1.3. *7Q10*

Se requiere realizar un análisis de sequía consecutiva, para esto se necesita de caudales mínimos diarios del sitio de interés, a partir de esta serie de datos se agrupa en periodos de 7 días y se obtiene un valor promedio de caudal de cada uno de estos lapsos, lo que permite armar una nueva serie de datos semanales de cada año, durante un tiempo

mínimo de 10 años; sobre esto se construye la curva de excedencias como se muestra en la Figura 29. Se realiza el análisis de frecuencia siendo el registro Q95 el caudal ecológico; sin embargo, al no disponer de una serie de datos de caudales mínimos diarios en el punto de toma, se optó por trabajar con los caudales diario en el sitio de toma según el estudio de factibilidad avanzada del diseño de la presa (Anexo 6). Otra manera de hacerlo es seleccionar los 7 días consecutivos de sequías presente en los 10 años y obtener un promedio, siendo este valor el considerado como caudal ecológico.

Figura 29. Curva de duración de caudales semanales para el punto de toma presa Manduriacu.



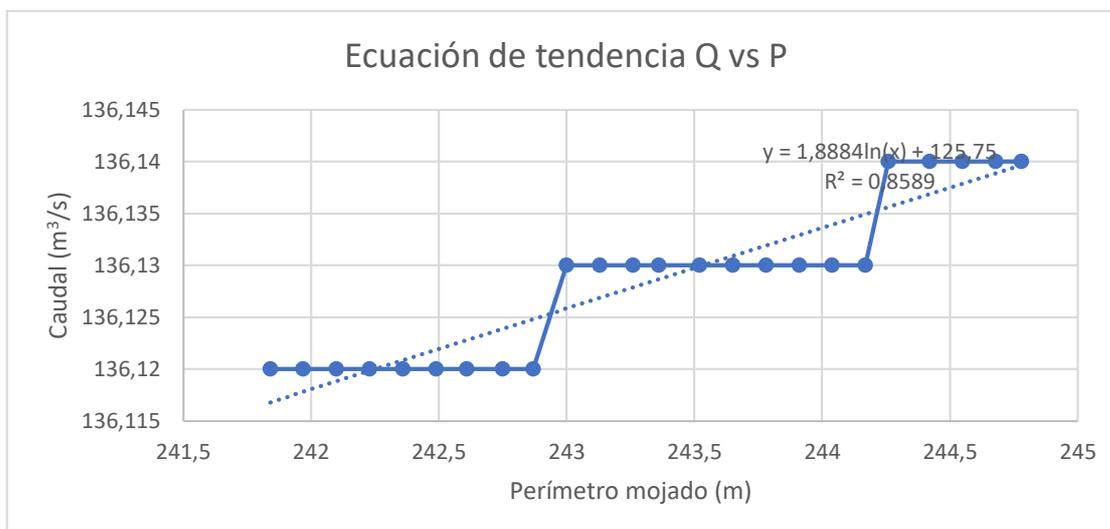
De la serie de datos semanales se agrupa en un caudal mínimo por año y se crea la serie de caudales mínimos semanales (Anexo 6), a partir de la cual mediante un análisis probabilístico se determina el caudal ecológico para una probabilidad del 10%.

5.2.6.2. Hidráulicos

5.2.6.2.1. Perímetro mojado

A fin de dar cumplimiento a la metodología de perímetro mojado se realizó una serie de datos de datos de caudal y perímetro mojado de la sección BM-9, con la información que nos ofrece la simulación de HEC –RAS (Anexo 7). En base a esta serie de datos se estableció una ecuación de tendencia mediante la cual se partió para obtener una serie de caudales con su respectivo perímetro mojado, ver Figura 30.

Figura 30. Curva de caudal y perímetro mojado mediante simulación HEC-RAS



5.2.7. CALIDAD DE AGUA SECCIÓN BM-9

El análisis hidrológico de cualquier elemento hídrico va ligado directamente al ámbito ambiental, bajo este antecedente se considera prioritario conocer la condición actual del río Guayllabamba comprendido en el presente estudio.

El día 25 de marzo de 2024, bajo autorización de la empresa CELEC, Unidad de Negocio Coca Codo Sinclair, se ingresó a la presa Manduriacu, donde en el punto que corresponde a la sección BM-9, se procedió a tomar 20 muestras de agua de 0.25 lt (Figura 31). Las muestras se enviaron al laboratorio LABOLAB.

Figura 31. Muestras de agua de la sección BM-9



El índice de calidad de agua está en función de la temperatura, DBO, oxígeno disuelto, sólidos suspendidos totales y conductividad. El cálculo se realiza mediante el sistema en línea de "AREQUIPA NEXUS INSTITUTE".

5.2.8. BALANCE HÍDRICO

Para determinar el balance hídrico se estipuló una multi escala espacial de cuencas bien definidas y una temporalidad anual. Se utilizó datos de precipitación y evapotranspiración obtenida previamente por las diferentes metodologías aplicadas; mientras para el caudal de descarga se utilizó el valor medido en campo resultante del caudal de la estación Guayllabamba DJ Pachijal menos el caudal de DJ Pachijal y Manduriacu.

$$P - Q - ET = 0 \quad (EC. 6)$$

$$\bar{Q} = \bar{P} - \bar{ET}$$

Donde:

\bar{ET} : Evapotranspiración media anual de la cuenca.

\bar{P} : Precipitación media anual de la cuenca

\bar{Q} : Caudal de descarga media anual de la cuenca.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. ZONA DE ESTUDIO Y SUS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS

De la metodología realizada para la caracterización de la cuenca se muestra en la Tabla 12 los resultados, considerando que varios parámetros se obtienen de manera directa, mientras otros requieren de cálculos conforme se menciona en el marco teórico.

La cuenca es grande con una superficie mayor a los 250 km² y enmarcada bajo un perímetro lobulado. En base a los valores de razón de elongación, factor de forma, coeficiente de compacidad, y rectángulo equivalente se concluye que la cuenca mantiene una estructura alargada, ligeramente achatada y con baja susceptibilidad a las crecientes. Se infiere de acuerdo con la elevación media que la cuenca tiene elevaciones altas y presenta una pendiente fuerte que plantea la presencia de quebradas y resulta congruente con la concluyente del perímetro. La cuenca presenta un drenaje de bajo a moderado; sin embargo, al examinar la longitud del río principal se puede establecer que el drenaje es pobre porque el agua se demora en llegar al punto de descarga, resultado que se corrobora con la extensión media de escurrimiento y su coeficiente de torrencialidad; además la inclinación del cauce es suave en relación con la pendiente del terreno de la cuenca con una sinuosidad irregular.

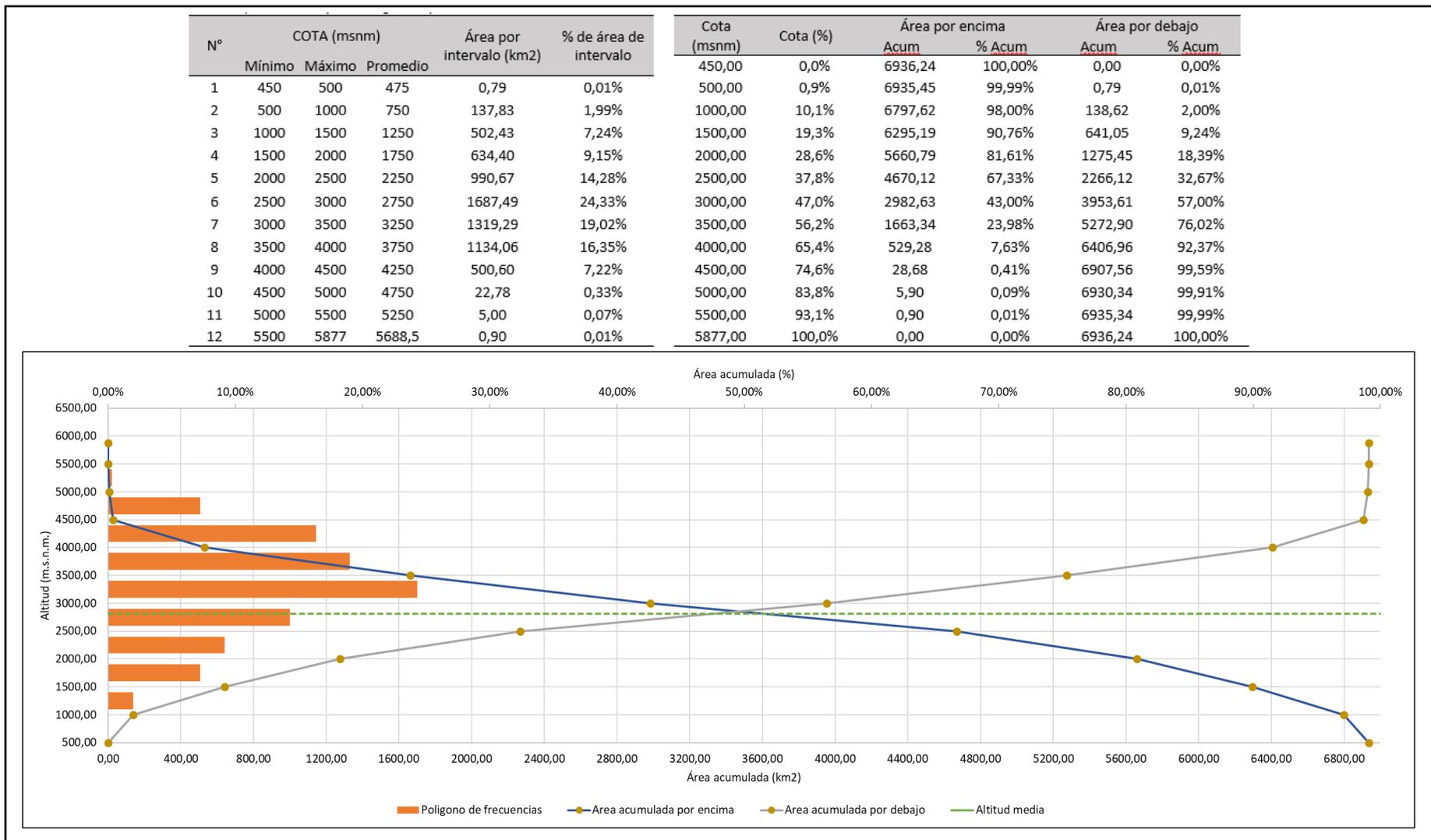
Tabla 12. *Parámetros fisiográficos cuenca Río Guayllabamba*

GRUPO	PARÁMETROS FISIGRÁFICOS	UNIDAD	VALOR	
General	Área	km ²	6936,27	
	Perímetro	km	575,66	
	Centroide	WGS84	X: -78,436 Y: - 0,047	
	Coeficiente de Compacidad o Índice de Gravelius		1,95	
Forma	Rectángulo equivalente	Lado Mayor	km	263,57
		Lado Menor	km	24,26
	Ancho medio	km	35,68	
	Razón de elongación		0,48	
	Factor de forma		0,18	
Relieve	Cota Mínima	m.s.n.m.	450,00	
	Cota Máxima	m.s.n.m.	5877,00	
	Desnivel total de la Cuenca	m	5427,00	
	Elevación Media de la Cuenca	m.s.n.m.	2812,41	
	Elevación Mediana de la Cuenca	m.s.n.m.	2856,15	
	Pendiente media de la Cuenca	%	34,41	
Drenaje	Orden de la Red Hídrica		6,00	
	Longitud total de ríos	Orden 1	km	2181,96
		Orden 2	km	1095,91
		Orden 3	km	440,75
		Orden 4	km	171,32
		Orden 5	km	71,28
		Orden 6	km	131,29

GRUPO	PARÁMETROS FISIográfICOS	UNIDAD	VALOR
	Longitud del río principal	km	194,40
	Longitud de sistema hídrico	km	4092,51
	Densidad de drenaje	km/km ²	0,59
	Extensión media de Escurrimiento	km	0,42
	Pendiente media del cauce principal	%	0,32
	Sinuosidad del Cauce Principal		1,85
	Coefficiente de Torrencialidad	ríos/km ²	0,13

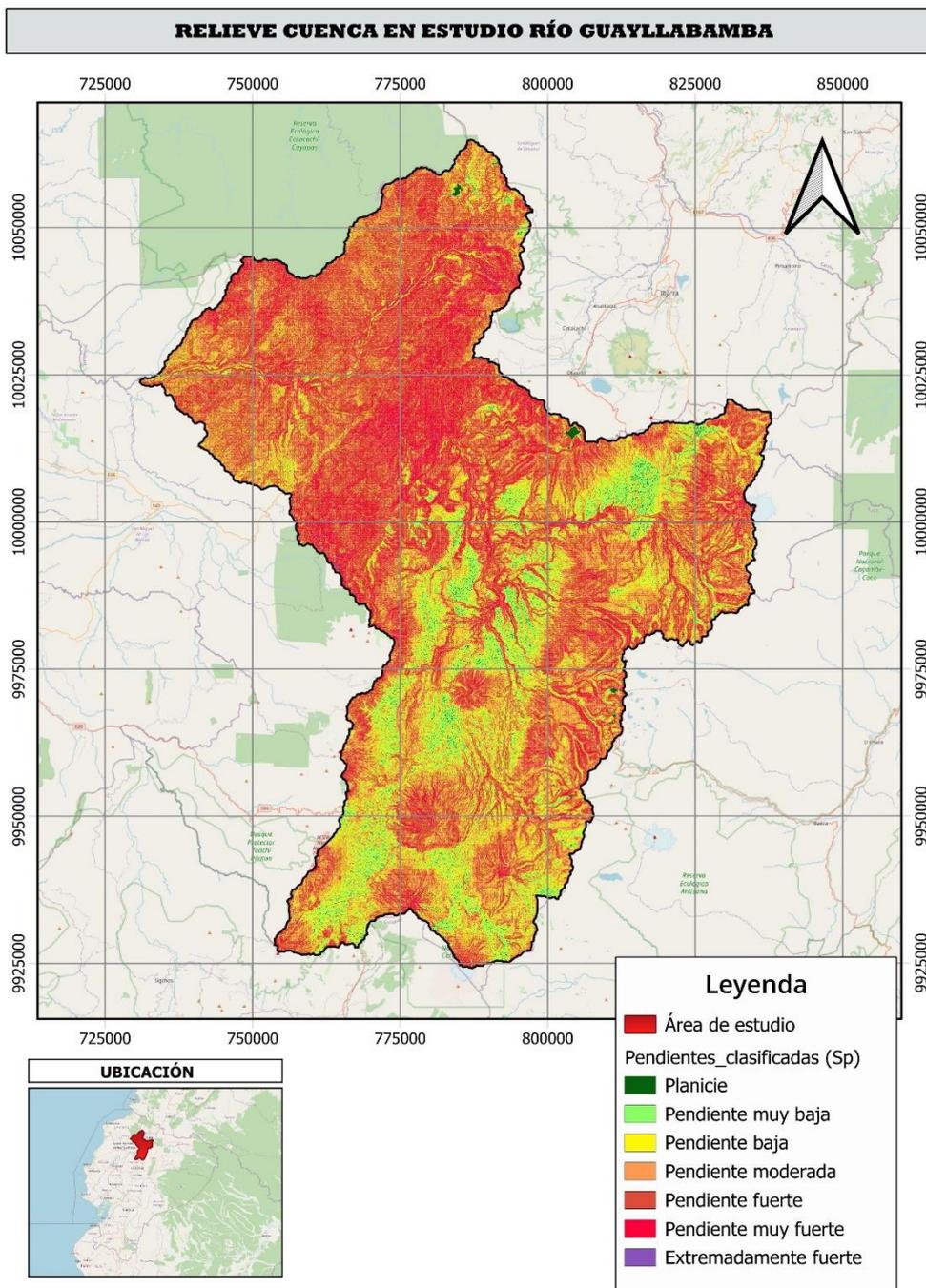
De la Figura 32 se estima que por el tipo de curva la cuenca se encuentra en equilibrio, lo que implica existe una parte erosionable y otra que esta erosionada. Se identifica en el polígono de frecuencia que la preponderación de área se encuentra entre las elevaciones de 3000 a 3500 msnm.

Figura 32. Curva hipsométrica y rectángulo equivalente



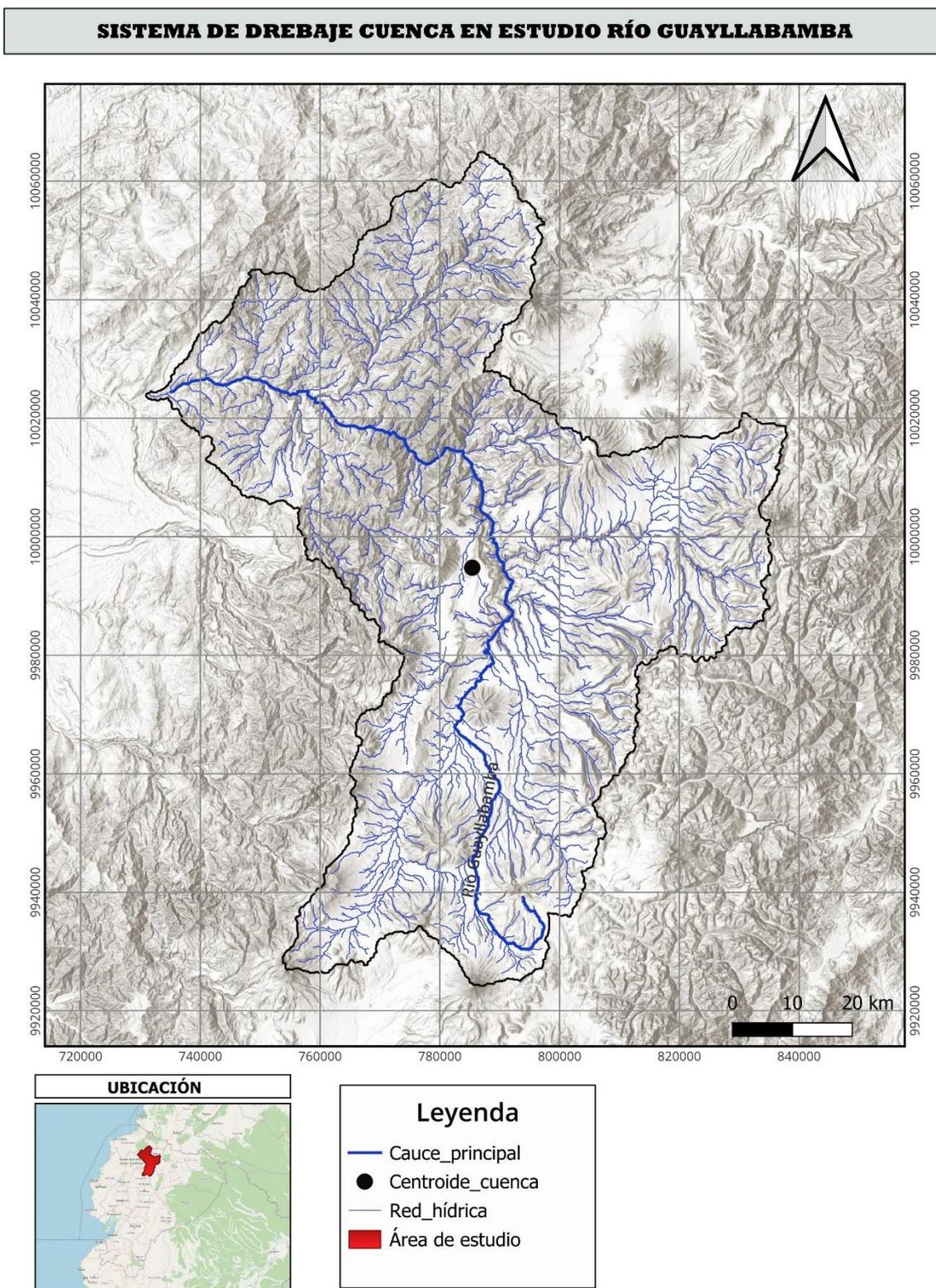
En la Figura 33 se valida la valoración de la pendiente media de la cuenca, donde se tiene una predominancia en la principal zona de estudio de una pendiente fuerte, lo que genera un eminente peligro a deslizamientos.

Figura 33. Caracterización de la cuenca de estudio. Relieve.



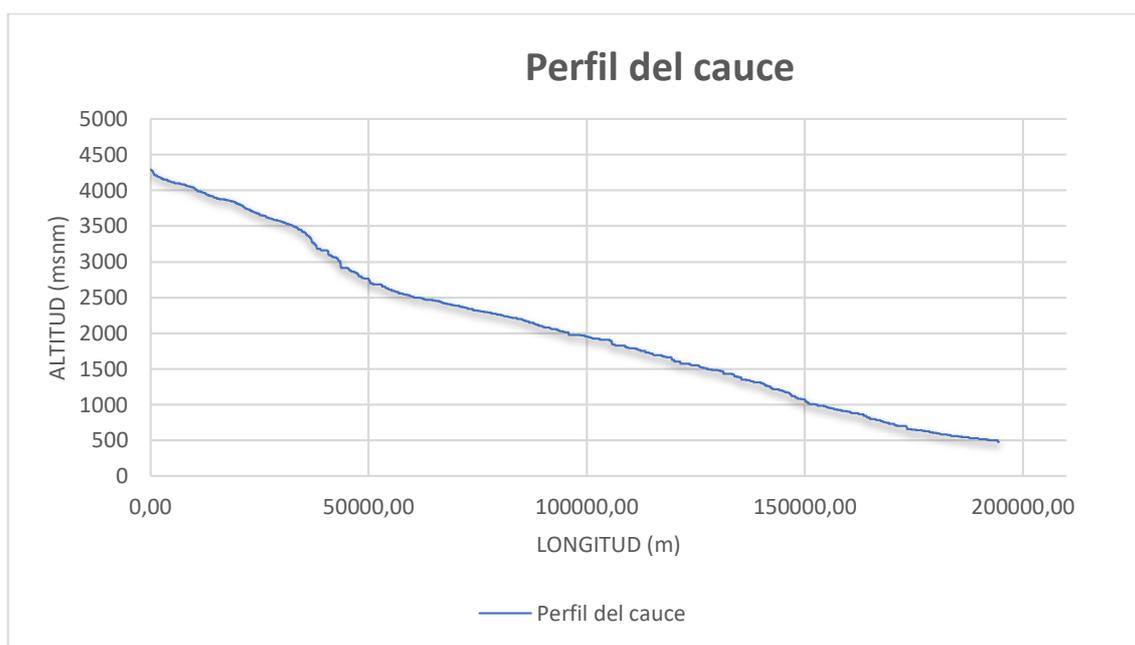
En la Figura 34, se ratifica al sistema de drenaje de la cuenca, donde se observa de manera más marcada el cauce principal que corresponde al río Guayllabamba y un sistema hídrico de orden 6.

Figura 34. Caracterización de la cuenca. Sistema de drenaje



En la Figura 35, se tiene el perfil del río Guayllabamba delimitado en el área de estudio, donde se manifiesta que la pendiente del cauce es ligera en comparación con la de la cuenca.

Figura 35. Perfil del río Guayllabamba en el área de estudio



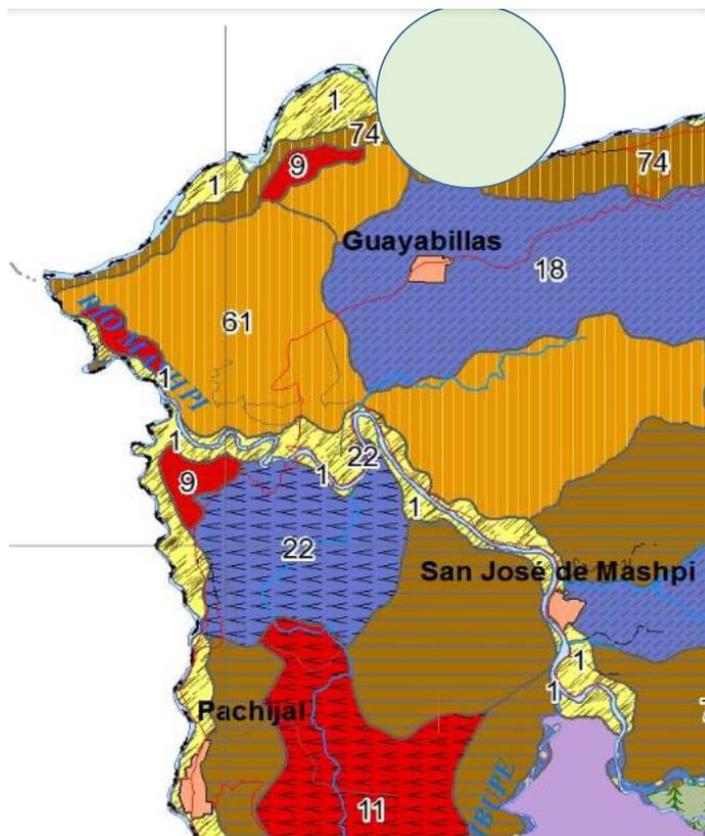
La zona de estudio a causa del funcionamiento de la presa Manduriacu cuenta con vías en estado medio a bueno; puentes de conexión; equipamientos de centros de salud; sistema de redes de servicios básicos. La central, como se mencionó en este estudio, era parte de un sistema integrado de hidroeléctricas en escalera para aprovechamiento del río Guayllabamba; no obstante, no se pudo realizar por la alta contaminación del río Guayllabamba, que incide en el funcionamiento de los equipos. Esta contaminación proviene de la evacuación de aguas negras y grises, domésticas, industriales, mineras, florícolas y agrícolas tanto de Quito y sus valles aledaños, como de Cayambe y Tabacundo (Moreno, 2019).

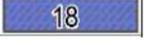
Dentro del área de influencia de estudio hay una biodiversidad extensa de flora y fauna; además de localizarse la reserva ecológica del Chocó, un paisajismo alterado por la presencia de la represa y un ecosistema que se vio modificado por la construcción de esta mega construcción. La zona se caracteriza por tener especies como el sábalo y la lisa, 500 plantas tropicales y 300 especies de animales (Tasipanta, 2019).

En cuanto al tema orográfico los valles interandinos mantienen un clima semiseco, la bioregión del Chocó un clima húmedo tropical, hiperhúmedo en las ramificaciones montañosas y páramo en las cordilleras (Tasipanta, 2019).

El 70% del territorio principalmente es para uso de terreno forestal y cultivo, en la Figura 36 se detalla el uso de suelo de las zonas involucradas directamente al proyecto de la presa Manduriacu (Tasipanta, 2019).

Figura 36. Uso de suelo en el sector de la represa Manduriacu



DESCRIPCIÓN	POR CAPACIDAD DE USOS
 1	Suelos con limitaciones a usos agrícolas, con pendientes de 2% a 5%, moderadamente profundos, texturas franco arcillosa, limosa
 9	Poseen ligeras limitaciones de suelo y clima, con una pendiente de 12%
 18	Suelos poco profundos de hasta 25% de pendiente
 22	
 61	Suelos que se ubican hasta en 40% de pendiente, suelos arcilloso, limosa, con drenaje natural
 74	Suelos con pendientes hasta 70%, texturas variables, drenaje natural, régimen de humedad údico y ústico.

Fuente: (Tasipanta, 2019)

6.2. INFORMACIÓN METEOROLÓGICA

La modelación hidrológica de la cuenca requiere de información de temperatura y precipitación media de la cuenca. Para esto como bien se mencionó se aplicó la metodología de Polígonos de Thiessen y el Inverso de la Distancia al Cuadrado para ambos parámetros. Al comparar ambos procesos, se estima que el método de los polígonos divide a la cuenca en secciones, no analiza efectos topográficos y requiere de una buena distribución de estaciones para resultados adecuados; mientras, el método IDC se considera más robusto al dividir la cuenca en celdas pequeñas y determinar los parámetros en cada una de ellas conforme la ponderación que viene de la distancia de la estación a la celda; es decir, a medida que se encuentra más cercana la estación a la celda, implica una representación de la precipitación en toda la superficie de la cuenca.

En la Figura 37 y Figura 38, se observa que los resultados tanto de precipitación media como de temperatura media de la cuenca por ambas metodologías nos da valores similares, siendo la raíz de error cuadrado medio (RMSE) para la serie de precipitación igual a 6,32; mientras para la de temperatura es igual a 0,84; por tanto, se considera correcto utilizar cualquiera de ellas para los futuros cálculos. Para el presente estudio se utiliza los resultados del método IDC, tanto para temperatura como para precipitación, esto por considerarse una metodología más robusta en base a lo mencionado previamente.

Figura 37. Serie de precipitación media mensual de la cuenca. Año 1990 a 2013

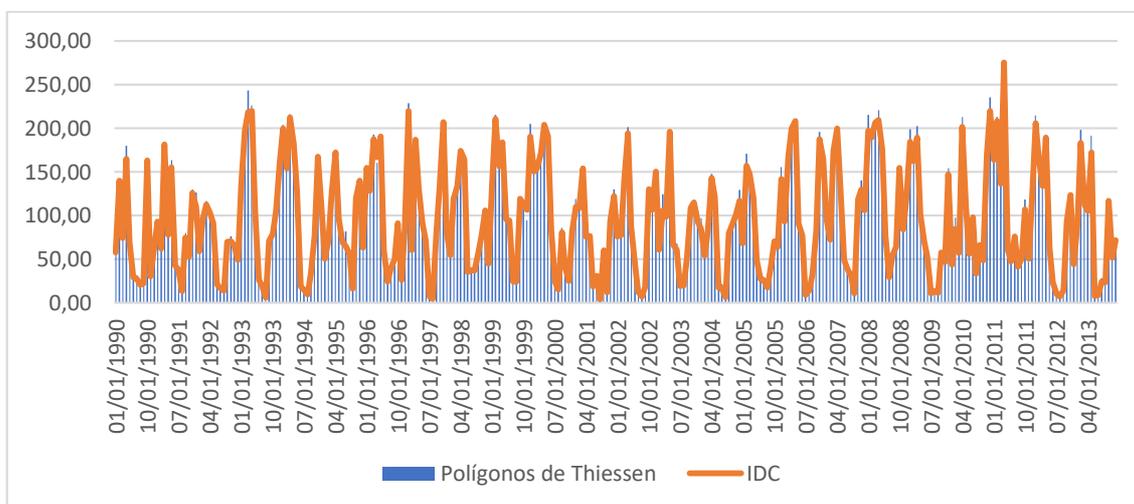
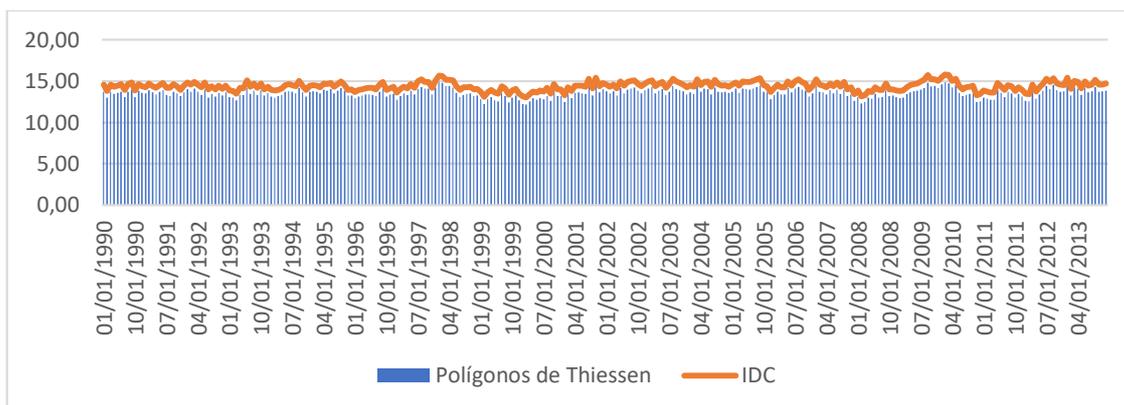


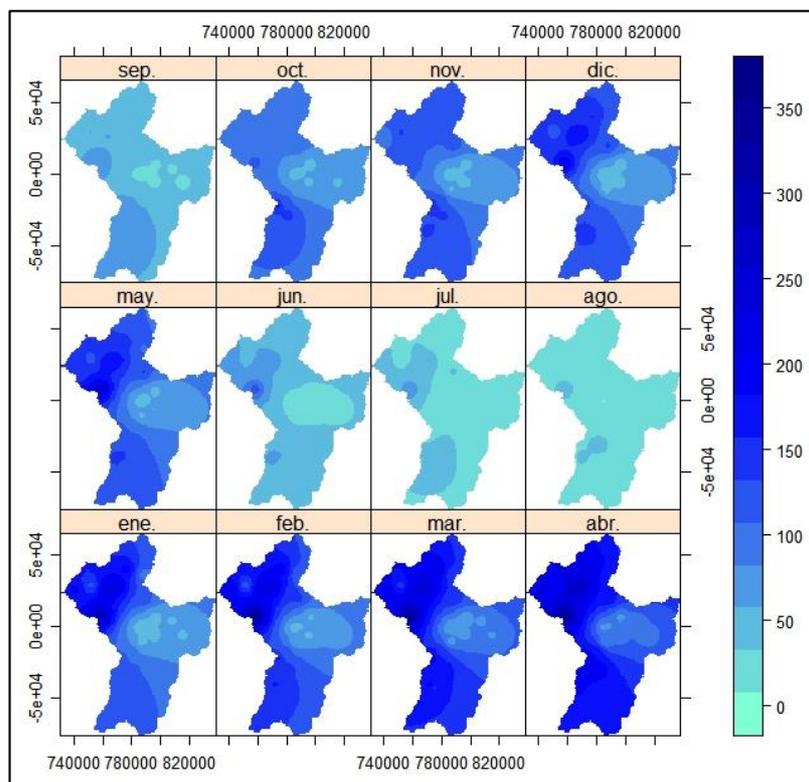
Figura 38. Serie de temperatura media mensual de la cuenca. Año 1990 a 2013



6.2.1. PRECIPITACIÓN MEDIA DE LA CUENCA

En la Figura 39, se visualiza que existe una considerable precipitación en la mayor parte de la cuenca durante los meses de marzo y abril; mientras el mes más seco se puede considerar al mes de agosto. Al englobar la cuenca de estudio diferentes zonas hay un clima variado y se observa en que en ciertos sectores como por ejemplo Cayambe mantiene una precipitación algo diferente al resto de la cuenca durante todos los meses excepto agosto.

Figura 39. Precipitación media mensual interanual de la cuenca por método IDC

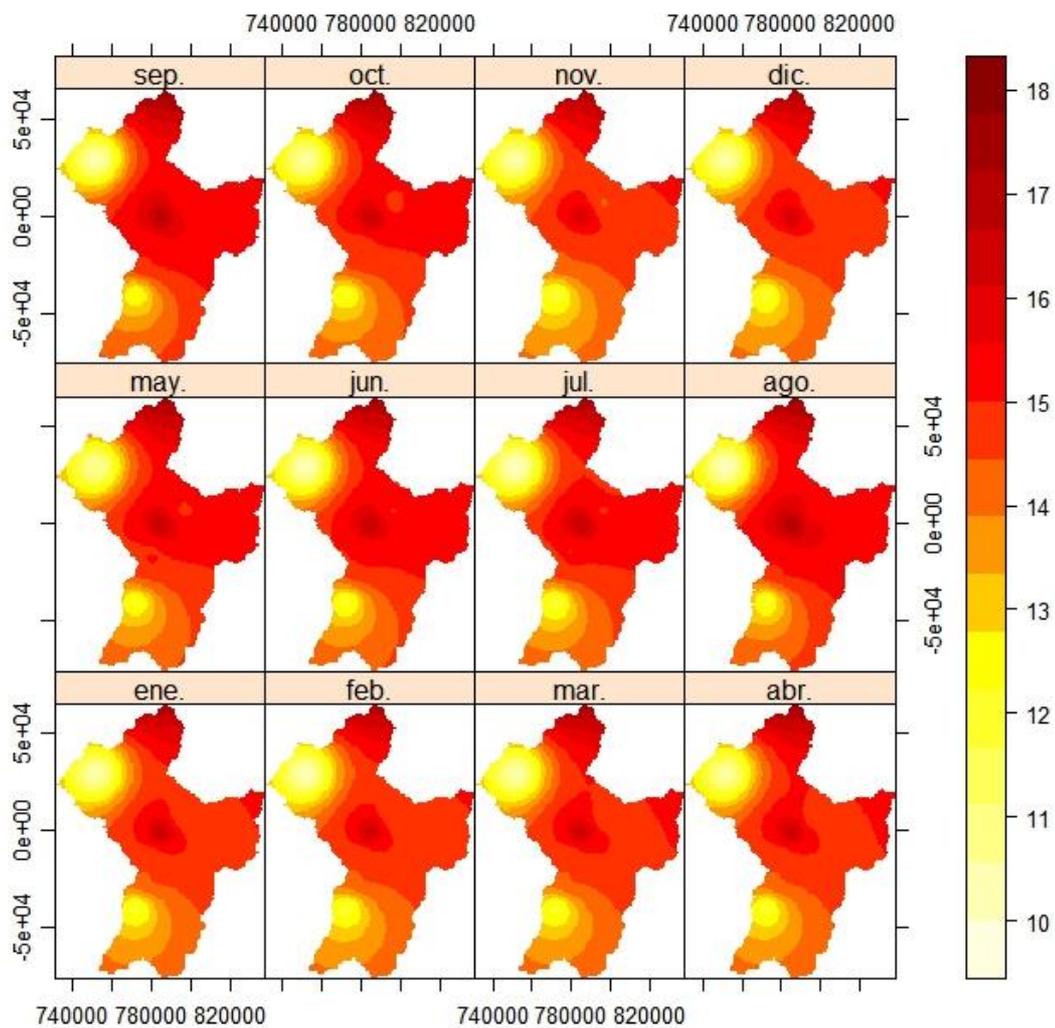


Fuente: R-Studio, script "prec_media.R"

6.2.2. TEMPERATURA MEDIA DE LA CUENCA

Por otro lado, conforme la Figura 40, se observa que la temperatura en la parte céntrica de la cuenca fluctúa entre los 15 a 18 grados centígrados, mientras en la parte inferior que corresponde a la zona de Quito, sector de Machachi varía entre los 11 a 14 grados centígrados

Figura 40. Temperatura media mensual inter anual de la cuenca

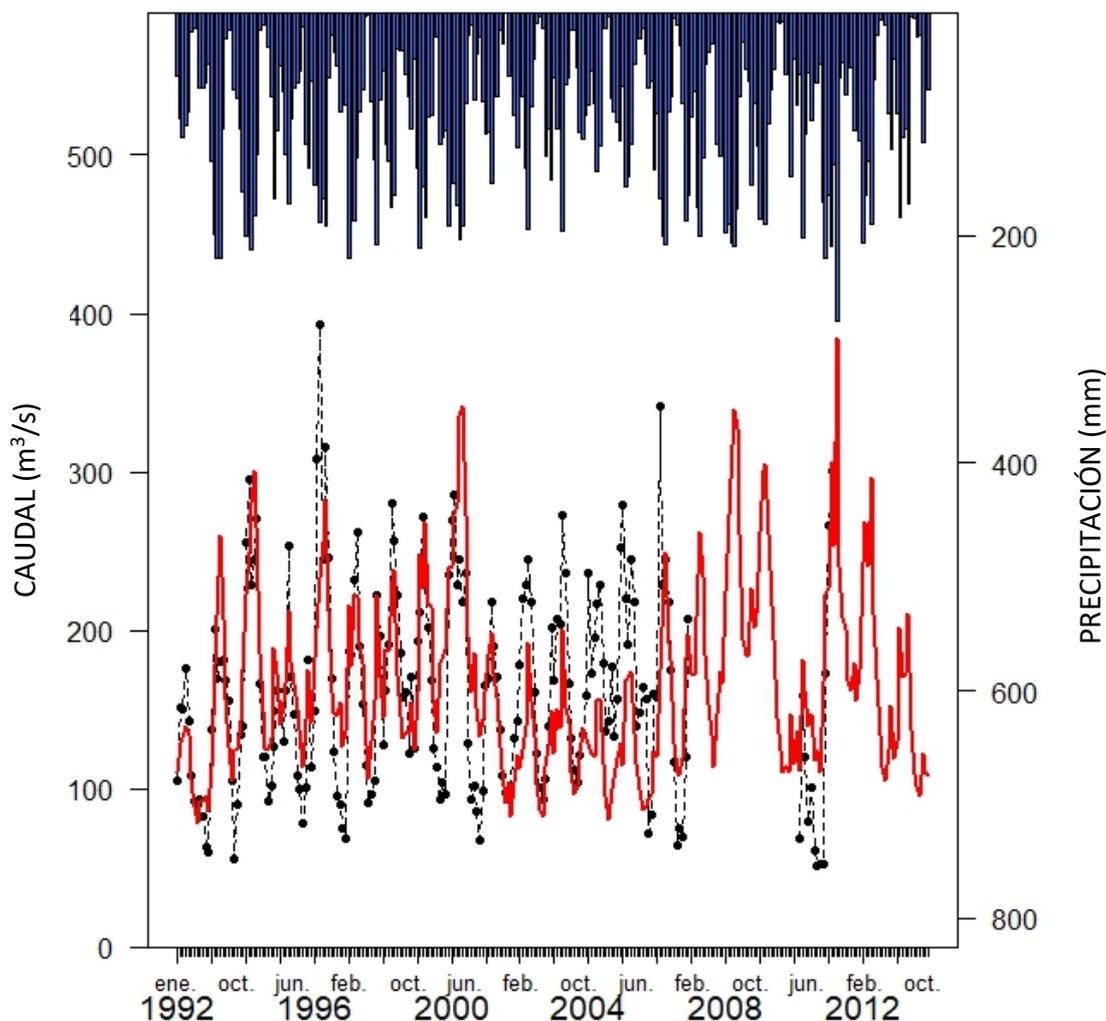


Fuente: R-Studio, script "temp_media.R"

6.3. CAUDAL SIMULADO MEDIANTE MODELAMIENTO GR2M

La simulación de caudales realizada en base al modelo GR2M fue calibrada considerando los caudales observados del punto de toma Manduriacu evaluados por HIDROEQUINOCCIO mediante la consultoría de factibilidad avanzada del diseño para la presa. Se obtuvo un valor NSE de calibración de 0,43; lo que implica que la simulación es satisfactoria. En la validación con un periodo de preparación uno de 1990 a 1991 y uno de 2002 a 2005; siendo el periodo de calibración de 1992 a 2001 y de 2006 a 2013 respectivamente, se obtuvo que en el primer periodo de calibración un NSE de 0,62 y 0,59 para la validación; mientras que en el segundo se obtuvo un NSE de 0,66 y 0,49 para la validación; estos valores garantizan una corroboración de buena a satisfactoria. En la Figura 41 se tiene los valores de caudales simulados en comparación a los observados en base a la precipitación y evapotranspiración ingresadas al modelamiento de GR2M.

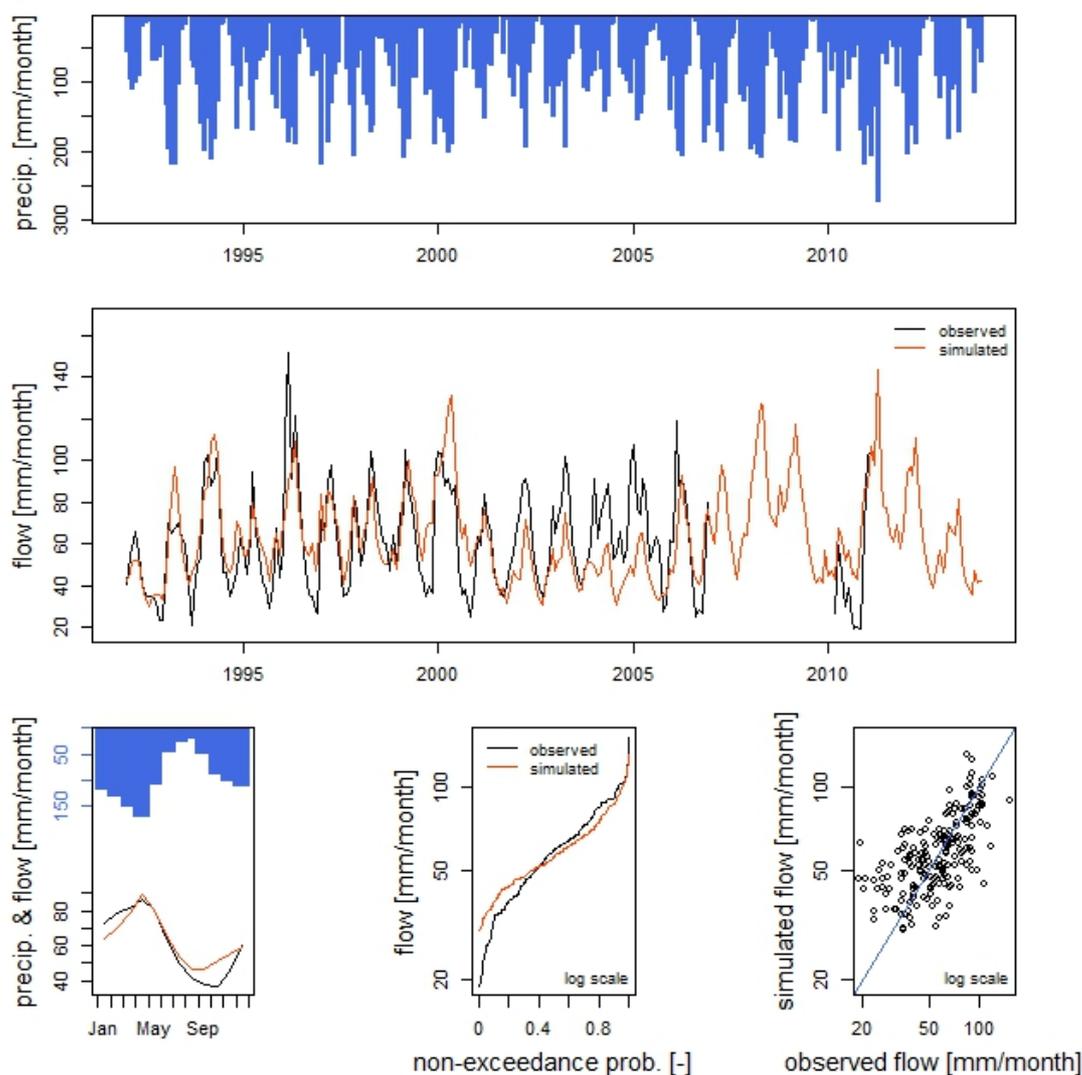
Figura 41. Caudales simulados y observados resultado de GRM2



Fuente: R-Studio, script "model_GR2M"

De igual manera en la Figura 42, se muestra un resumen de los resultados hidrológicos propuestos, simulados y la correlación existente entre ambos para la cuenca en estudio. La discrepancia entre los valores simulados y observados se considera es por la metodología aplicada para la obtención de los datos de entrada de precipitación y temperatura, debido a que para el presente estudio se implica un valor medio de toda la cuenca y aplicando la información de todas las estaciones cercanas a la zona de estudio; mientras en la factibilidad avanzada del diseño de la represa Manduriacú solo se implementa los valores de la estación Guayllabamba DJ Alambi y Guayllabamba DJ Pachijal, dejando al resto de estaciones netamente para relleno de algún valor faltante en las estaciones principales.

Figura 42. Resumen de variables hidrológicas para la cuenca en estudio. GR2M.



Fuente: R-Studio, script "model_GR2M"

6.4. CAUDAL HIDRÁULICO DE DESCARGA

Mediante la simulación del segmento que corresponde a la descarga en el programa HEC-RAS, se obtuvo bajo la simulación de caudal máximo un ancho mojado de 133,60 m en la sección BM-9 y una velocidad de 0,58 m/s. De las visitas in situ se obtuvo mediante levantamiento topográfico realizado con ayuda del personal técnico de CELEC, que el ancho del cauce es igual a 51,40 m (Figura 43).

Figura 43. Ancho del río en la sección BM-9



Fuente: CELEC, 2024

Y con respecto a las mediciones en los puntos P1, P2 y P3 se obtuvo los resultados propuestos en la Tabla 13, de donde se tiene que el caudal de descarga el día 25 de marzo de 2024 para la cuenca de estudio habiendo pasado por la represa Manduriacu fue de 218,54 m³/s.

Tabla 13. Caudales medidos in situ.

Puntos	Estación	Caudal (m ³ /s)
P1	Guayllabamba DJ Pachijal	307,96
P2	Pachijal DJ Guayllabamba	70,50
P3	Manduriacu	18,92
Caudal de descarga (m ³ /s)		218,54

6.5. EVALUACIÓN CAUDAL ECOLÓGICO DE LA CUENCA

Todos los métodos aplicados para evaluar el caudal ecológico son válidos, es cuestión del tipo de análisis y objetivo que se requiera alcanzar para seleccionar una de ellos, al considerar sensible el tema de las hidroeléctricas en este estudio se va a analizar los resultados del método de Hoppe, por ser el que brinda el peor escenario con el mayor valor de caudal ecológico que debería mantener el río Guayllabamba una vez que atraviesa la presa Manduriacu, al cumplir con estos valores por ende satisface los resultados del resto de métodos.

Tabla 14. Evaluación del caudal ecológico

Método		Hoppe		Tennant		7Q10	Perímetro Mojado	Método ecuatoriano
Caudal ecológico (m ³ /s)	Desove	212,28	Avenidas	66,94	Q95%	123,41	138,00	16,74
	Crecimiento	161,41	Sequías	33,47	Q _{TR10}	194,16		
	Reproducción	115,26						

Se evidencia en la Tabla 14, que el método de Hoppe aporta con tres tipos de caudales que se debería mantener en un río para asegurar una óptima supervivencia de las especies acuáticas, siendo el mayor de ellos de 212, 28 m³/s; no obstante, es evidente que este resultado con otros como por ejemplo la metodología ecuatoriana que requiere el menor valor de caudal ecológico, es superior en un 92%. Mientras que con respecto a la probabilidad del caudal mínimo semanal es mayor en un 8,55% por lo que se considera similar a la metodología 7Q10.

Si se contemplará al caudal de Hoppe de la etapa de crecimiento, se tendría una mayor similitud tanto con 7Q10 y perímetro mojado; siendo esta una alternativa opcional más accesible en cuanto a la posibilidad hidrológica de llegar a este valor es más factible; en tanto, el método de Tennant y ecuatoriano se mantienen como los más alejados del resto de métodos con un valor de caudal ecológico relativamente bajo y sabiendo que para Tennat se aplicó la necesidad de mantener un ecosistema bueno, porque de requerirse un panorama ecosistémico óptimo se requiere de 133,89 m³/s; resultado similar al método de perímetro mojado.

En la Figura 44, se tiene valores de caudales propuestos por CELEC para el año 2015, es decir ya bajo el funcionamiento de la presa; sin embargo, al realizar una relación con los caudales medios, se puede evidenciar que durante los meses de junio a enero no cumple con el valor mínimo requerido como caudal ecológico y que apenas los meses de avenidas de febrero a mayo cumple con este valor siendo rentable su uso. Si se compara con los valores solicitados por la normativa ecuatoriana, es evidente que se cumple para todos los meses; a pesar de esto es relevante considerar que un caudal de 10% del caudal promedio diario representa una condición pobre para mantener los ecosistemas acuáticos.

Figura 44. Caudales característicos río Guayllabamba en la represa Manduriacu

Mes	Caudal medio (m ³ /s)		
	Mínimo	Medio	Máximo
Enero	97,5	178,9	279,2
Febrero	84,2	219,6	351,2
Marzo	121,2	228,7	393
Abril	174	245	332,7
Mayo	134,6	221,2	338
Junio	105,5	159,7	246,1
Julio	81,8	121,1	185,8
Agosto	63,2	96,8	164,3
Septiembre	45,6	91,1	176,9
Octubre	58,6	102,1	155,7
Noviembre	61,1	137,7	351,2
Diciembre	60,4	147,8	270,2

Fuente:(Moreno, 2019). Nota: Los valores se obtuvieron de CELEC 2015, Manduriacu

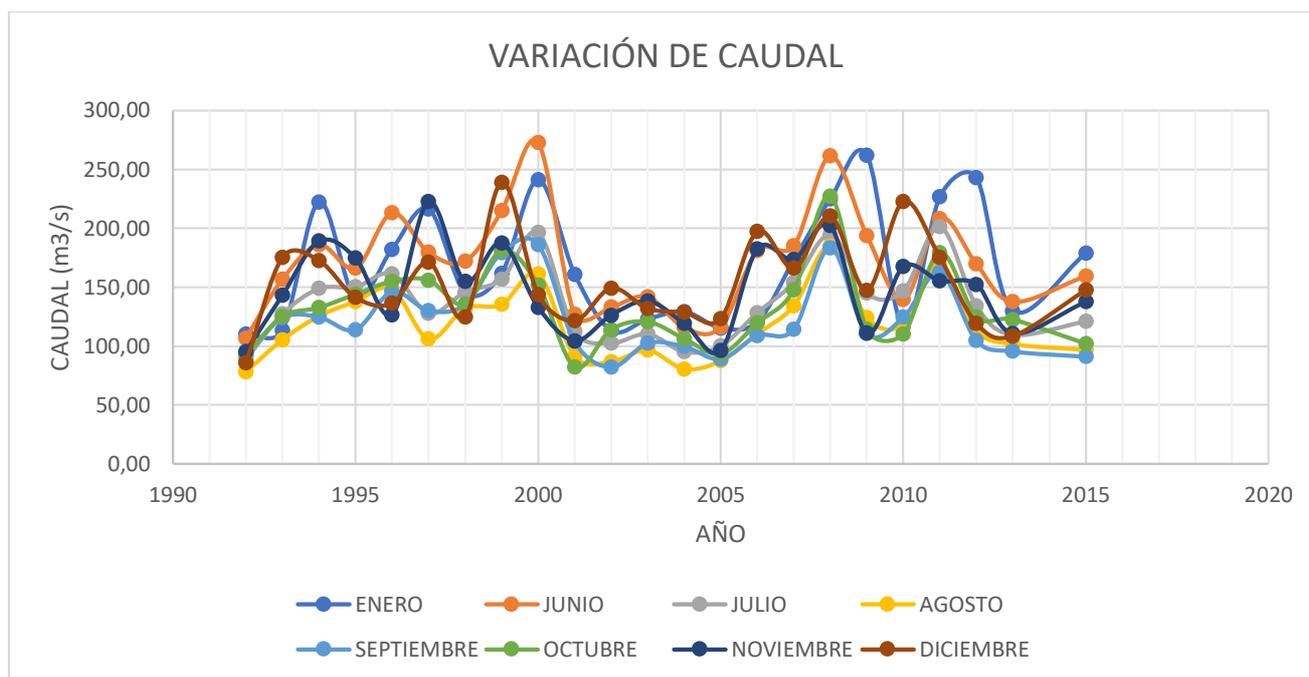
Con el objetivo de sustentar que durante los meses de sequía no se cumple con el caudal ecológico para desove seleccionado mediante el método de Hoppe, se muestra en la Tabla 15 que, durante el periodo de análisis de 1992 a 2015 en los meses de junio a enero, únicamente en los momentos de color azul se cumplió con el caudal ecológico asumido; mientras aquellos de color verde se aproxima al valor requerido y los de color morado son todos aquellos momentos que no se cumplió con el valor ecológico demandado.

Tabla 15. Serie de caudales mensuales desde 1992 a 2015

AÑO	CAUDAL (m ³ /s)											
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1992	110,28	128,88	132,49	139,89	133,95	106,71	88,75	78,20	92,26	92,70	95,24	85,80
1993	113,34	178,70	210,01	260,38	207,68	156,87	127,25	105,35	124,05	125,12	143,19	175,35
1994	222,28	248,93	280,28	300,83	264,89	186,08	148,89	125,51	124,70	132,64	189,10	172,72
1995	140,84	155,20	166,86	212,64	180,69	166,09	150,25	137,89	113,90	144,05	174,70	141,34
1996	182,28	200,54	233,51	255,24	282,35	213,08	161,47	148,52	146,18	154,94	126,70	136,47
1997	216,44	177,52	222,11	221,57	191,69	179,69	127,94	106,04	130,24	156,06	222,62	171,21
1998	145,35	187,84	187,03	230,71	238,96	172,00	145,98	132,08	135,47	135,43	154,93	124,62
1999	161,51	248,57	226,68	268,44	217,14	214,95	156,97	135,35	179,38	181,26	187,69	239,13
2000	241,02	272,76	280,80	335,51	341,21	272,82	196,37	161,24	185,97	151,75	132,81	143,76
2001	161,03	185,28	198,68	172,46	158,32	126,92	112,47	91,47	103,87	82,26	104,44	121,46
2002	113,16	124,22	139,68	192,45	155,82	133,16	102,70	86,76	82,24	114,03	126,23	149,24
2003	122,87	150,19	138,18	200,46	151,13	141,97	110,46	96,55	102,55	120,67	138,14	131,83
2004	129,28	122,93	120,36	155,64	156,67	115,69	95,30	80,65	99,75	106,31	119,21	128,55
2005	115,40	169,09	169,70	174,14	134,81	116,29	100,17	87,45	89,15	93,50	96,28	123,54
2006	120,48	174,99	201,55	249,32	192,73	181,21	128,48	110,56	108,89	119,67	182,57	197,35
2007	172,99	172,22	208,70	262,13	234,04	185,13	153,96	134,25	114,36	147,64	173,57	166,19
2008	224,96	273,00	294,97	339,71	327,71	261,44	194,44	184,95	183,28	227,04	202,22	210,44
2009	261,96	300,74	305,27	260,56	215,86	193,99	144,88	124,14	110,55	114,19	111,00	147,37
2010	116,37	136,14	111,84	181,39	162,09	139,54	147,04	118,30	124,54	110,47	167,41	222,90
2011	226,83	306,32	253,02	384,27	240,15	208,47	201,36	168,86	162,55	179,32	155,39	175,23
2012	242,89	268,13	241,04	296,94	211,06	169,73	134,11	113,55	104,88	124,92	152,34	119,22
2013	129,79	201,71	170,52	172,95	210,31	137,67	109,76	101,71	95,58	122,44	110,77	108,63
2015	178,90	219,60	228,70	245,00	221,20	159,70	121,10	96,80	91,10	102,10	137,70	147,80

Y mediante la Figura 45, se determina que durante contadas ocasiones se logra un caudal mayor a los 200 m³/s. El caudal tiende a variar durante los meses de sequías en un rango de 100 a 175 m³/s, lo que implica que se lograría cumplir tanto con el caudal ecológico solicitado por el método de Hoppe únicamente para el crecimiento y reproducción de especies acuáticas como por el método de Tennant al punto de asegurar un ecosistema óptimo, el método de perímetro mojado y lo sugerido por la normativa ecuatoriana. Sin embargo, considerando la posibilidad de una tendencia a caudales menores a 100 m³/s, se garantizaría solamente el cumplimiento del caudal ecológico por el método ecuatoriano y por el método de Tennant para satisfacer un ecosistema acuático aceptable temporalmente.

Figura 45. Serie de caudales de junio a enero desde el año de 1992 a 2015.



6.5.1. MÉTODO DE HOPPE

En base a la curva de excedencia de caudales se obtuvo el Q17% (desove), Q40% (crecimiento) y Q80% (reproducción), valores que reflejan los diferentes estadios de vida de una especie; es importante mencionar que este método presenta la desventaja de haber sido desarrollado a partir de experiencia con truchas en el río Frying Pan de Colorado (Claudio S. M. Consuegra Martínez, 2013). En la Tabla 16, se identifica que para lograr el desove de especies acuáticas es necesario un caudal relativamente alto en comparación con el necesario para las otras etapas de vida acuática.

Tabla 16. Resultados Método de Hoppe con caudales simulados

Método Hoppe		
Tipo de caudal		Q (m ³ /s)
Desove	Q17%	212,28
Crecimiento	Q40%	161,41
Reproducción	Q80%	115,26

Con respecto al resultado de caudal de descarga in situ para el día 25 de marzo de 2024 se cumplió con el valor de caudal ecológico requerido para las tres etapas de reproducción, contemplando que se esperaba este resultado, debido a que marzo se valora como un mes de lluvia.

6.5.2. MÉTODO DE TENNANT

Conforme la clasificación de la Tabla 17, se analiza el caudal ecológico de la cuenca en función a una categoría buena, ya que esta permite conservar un ecosistema adecuado para la subsistencia de distintas formas de vida.

Tabla 17. *Categoría para estimar el caudal ecológico método Tennant*

Categorías para la estimación de caudal ecológico	Caudales recomendados (Porcentaje del caudal medio anual) %		Características Hidráulicas y Calidad de Agua	Observaciones
	Meses Estiaje	Meses Avenidas		
Abundante Máximo	200	200	Muy adecuado para la vida acuática a largo plazo	Mayor a este porcentaje posible erosión de riberas y/o desgaste de la fauna acuática
Rango óptimo	60 -100	60 -100	Óptimo para la vida acuática	Permite el desarrollo de gran parte de la vida acuática y varias actividades de uso recreativo
Excepcional / Excelente	40	60	Recomendado para varias formas de vida acuática	
Excelente / Muy bueno	30	50	Adecuado para mantener la supervivencia de determinadas especies acuáticas	Caudal recomendado para sustentar el ecosistema acuático
Bueno	20	40		
Degradación / Aceptable	10	30		
Pobre o mínimo / débil	10	10	Mínimo recomendado para mantener a corto plazo la vida acuática	Preserva el ecosistema acuático de manera temporal
Degradación severa / Muy insuficiente	<10	<10	Pobre para vida acuática	Severo desgaste del medio acuático

Fuente:(Oyola, 2017)

Se tiene entonces mediante la Tabla 18 que el caudal ecológico que debería existir mínimo para épocas de lluvia es igual a 66,94 m³/s, mientras en épocas de estiaje es igual a 33,47 m³/s; al contar con la medición actual únicamente en el mes de marzo en el cual conforme su registro histórico de precipitaciones se puede considerar época de avenidas, entonces se tiene que el caudal de descarga cumple con lo solicitada como ecológico para mantener el ecosistema acuático de régimen bueno.

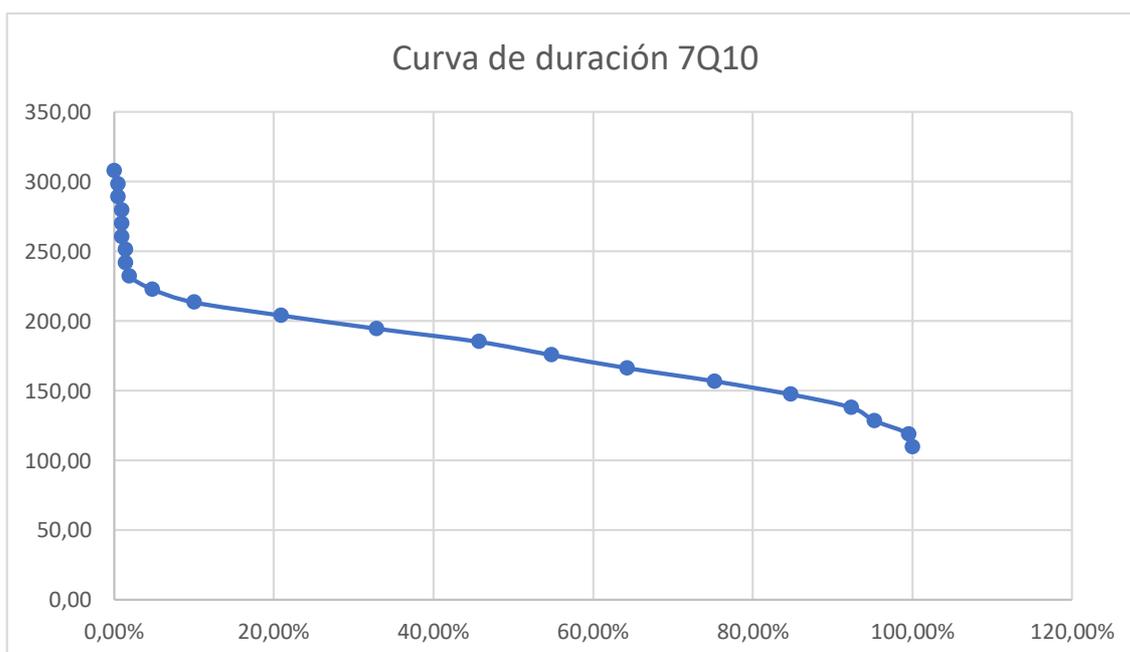
Tabla 18. Caudal ecológico método de Tennant.

Q medio de la cuenca (m ³ /s)	
167,36	
Caudal Ecológico. Método Tennant	
Q (m ³ /s)	
200%	334,72
100%	167,36
90%	150,62
80%	133,89
70%	117,15
60%	100,42
50%	83,68
40%	66,94
30%	50,21
20%	33,47
10%	16,74

6.5.3. MÉTODO 7Q10

En base a la serie de datos semanales anuales desde el año de 1965 a 2006, creada a partir de los valores de caudales medios diarios del estudio de factibilidad avanzada para el diseño de la presa Manduriacu, se obtuvo la curva de excedencia de caudales de la Figura 46 .

Figura 46. Curva de duración de caudales semanales para el punto de toma represa Manduriacu.



Nota: los valores fueron obtenidos de datos de tablas de CELEC.

Conforme esta metodología, se tiene entonces que en base a una serie de caudales semanales como se puede determinar en la Tabla 19, el caudal ecológico sería de 123,41 m³/s

Tabla 19. Resumen de caudales método 7Q10

Registro	Q (m ³ /s)
Máximo registro (m ³ /s)	298,27
Mínimo registro (m ³ /s)	109,51
Registro Q10. Caudales altos (m ³ /s)	203,78
Registro Q50. Caudales promedio (m ³ /s)	171,63
Registro Q90. Caudales base (m ³ /s)	130,18
Registro Q95. Caudales ecológicos (m ³ /s)	123,41

Se evalúa por medio de la probabilidad de Gumbel el caudal mínimo promedio semanal que se generará en un periodo de retorno de 10 años, siendo este valor el de 194.16 m³/s; de esto se induce entonces que existe un 90% de probabilidad de que no se presente un caudal mayor a este valor de caudal mínimo semanal, ver Tabla 20.

Tabla 20. Probabilidad del caudal mínimo serie semanal

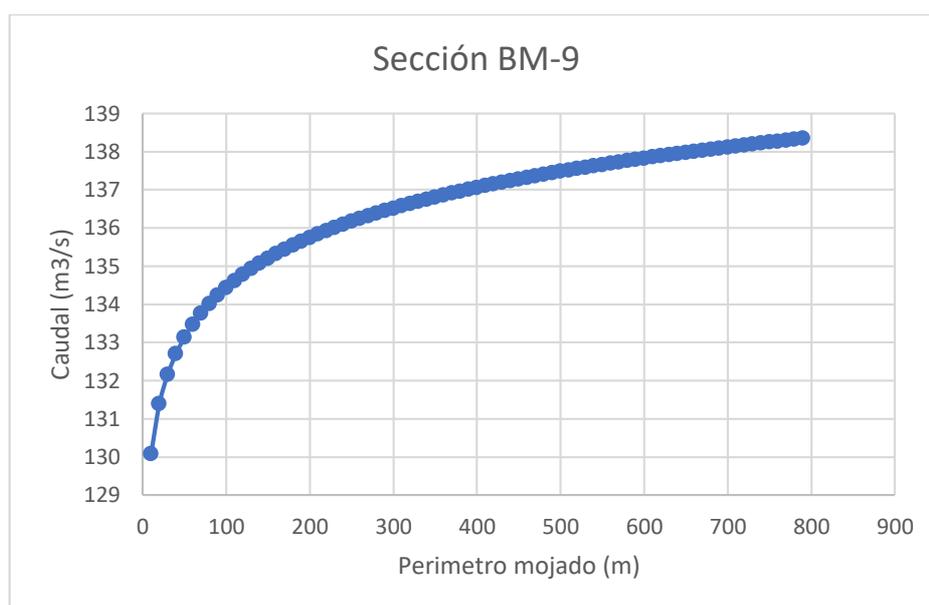
PROBABILIDAD DE GUMBEL		
TOTAL, DATOS	42,00	
MEDIA (\bar{X})	155,91	
DESVIACION ESTÁNDAR (S_x)	25,86	
PARÁMETROS		
μ_y	0,546	
σ_y	1,152	
α	0,045	$\alpha = \frac{\sigma_y}{S_x}$
μ	143,64	
X	0,90	$\mu = \bar{X} - \mu_y / \alpha$
b	2,25	
Caudal mínimo de la serie semanal P10% (m³/s)	194,16	

6.5.4. MÉTODO PERÍMETRO MOJADO

Del modelo simulado en HEC-RAS, se determinó el cambio de perímetro mojado presente en la sección de análisis BM-9 a medida que aumenta la simulación de caudal, a partir de esta gráfica con línea de tendencia logarítmica se obtuvo la relación

generalizada entre el caudal y el perímetro mojado, obteniendo entonces como resultado que el caudal en el que se estabiliza el perímetro mojado es de $138 \text{ m}^3/\text{s}$, lo que corresponde al caudal ecológico bajo esta metodología. Se observa en la Figura 47, que a medida que se aumenta el caudal, el perímetro mojado incrementa; sin embargo, llega a un punto en que a determinado volumen del agua el perímetro se mantiene constante, este punto de inflexión bajo este proceso se considera aquel que permite la liberación de peces o producción de invertebrados que mantienen contacto con el agua.

Figura 47. Curva de caudales y perímetro mojado sección BM-9



6.5.5. MÉTODO ECUATORIANO

Para aplicar esta metodología se utiliza el 10% del caudal medio de la cuenca previo a la ubicación de la presa Manduriacu, siendo este valor mínimo de caudal entonces de $16,74 \text{ m}^3/\text{s}$.

En base a lo mencionado por CELEC 2015 y a su vez citado en (Moreno, 2019), se tiene que el caudal ecológico para el sistema de atracción de peces hacia el ascensor aprobado para la construcción fue de $0,30 \text{ m}^3/\text{s}$; valor que resulta en su totalidad menor al mínimo recomendado por la normativa de la secretaria del Agua del Ecuador y considerando además que para el año 2016, se verificó que no se ejecutó el ascensor de peces propuesto en el plan de gestión ambiental, justificándose en el factor de que el impacto es mínimo, se reemplazó esta estructura por una compuerta adicional para liberar el agua del embalse en caso de crecidas.

6.6. EVALUACIÓN CALIDAD DE AGUA PUNTO DE DESCARGA

Conforme se muestra en el análisis comparativo de la Tabla 21, de aquellos parámetros que se tiene datos anteriores, se puede observar que a la fecha de la toma existe un incremento considerable de hierro, sólidos suspendidos, demanda química de oxígeno, sólidos totales, demanda bioquímica de oxígeno, sólidos disueltos totales, coliformes fecales y aluminio. Mientras que, con respecto a los límites permisibles de diferentes normativas y fuentes bibliográficas sobre la calidad de agua de un cuerpo de agua fría para mantener las especies acuáticas o permitir el regadío de plantas existe un alto valor de hierro y demanda bioquímica de oxígeno; y carece de oxígeno disuelto suficiente. Se determina además que el agua del río Guayllabamba en el punto de descarga cumple con los parámetros exigidos de Ph, sodio, fosfatos y demanda química de oxígeno.

Tabla 21. *Parámetros de calidad del agua. Punto de descarga*

Fecha de la toma	-	25/3/2024	29/8/2016	
Humedad Relativa	%	51%		
Temperatura	°C	21,8	22,4	
PARÁMETRO	UNIDAD	LABOLAB	REPRESA EL SALTO CROPLAB	LÍMITES MINISTERIO DEL AMBIENTE O/Y OTRAS FUENTES
Ph (20°C)	unidades de pH	7.39 ± 0.15	8,35	6,5 a 9
Conductividad (25°C)	µS/cm	171 ± 11.03		700
Calcio	mg/l	24.59 ± 0.13		
Magnesio	mg/l	7.61 ± 1.79		
Sodio	mg/l	10		>9
Potasio	mg/l	3		
Color	UCA	20		
Turbiedad	NTU	>50		
Alcalinidad Total	mg/l	75,4		
Carbonatos	mg/l	0		
Bicarbonatos	mg/l	75,4		
Dureza Total	mg/l	60,96		
Cloruros	mg/l	9,65		0,01
Fosfatos	mg/l	1,8	< 1,23	
Nitritos	mg/l	0,36		
Sulfatos	mg/l	21,03		
Hierro total	mg/l	2,45	<0,20	0,3
Sólidos Totales	mg/l	440	214	
Sólidos Disueltos Totales	mg/l	86	204	
Sólidos Suspendidos	mg/l	354	< 10	
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	36	< 10	40
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	31	< 4,75	20
Oxígeno Disuelto	% de saturación	2		No menor al 80% y no menor a 6 mg
			93,74	>80
Aluminio	mg/l	<0,4	<0,25	0,1
Zinc	mg/l	<0,01	< 0,05	0,18
Reencuento de Coliformes Fecales	NMP/100ml	2,4 x 10 ⁻⁴	2,2	

Entonces, se puede comprender de estos resultados que al pasar de los años la calidad del agua del río Guayllabamba dentro de la cuenca de estudio ha empeorado mostrando una mayor presencia de sólidos y desperdicios fecales, condición que se puede visualizar en la Figura 48, donde es evidente el cambio de color del agua a través de los años.

Figura 48. Estado del río Guayllabamba aguas debajo de la represa Manduriacu



De igual manera conforme (Moreno, 2019) y como se evidenció en las visitas técnicas al lugar, el embalse de la presa Manduriacu permanece en su mayor tiempo con un volumen lleno de agua sedimentada, lo que provoca la presencia de mosquitos en las zonas aledañas y en el momento de limpieza y/o evacuación de dicho embalse provoca una alta contaminación en el río principal de la cuenca, que no solo afecta de manera directa al cauce principal; sino que además, genera efectos adversos a las poblaciones y ríos aledaños; estas condiciones son evidentes como se indica en la Figura 49.

Figura 49. Consecuencias del lavado del embalse de la represa Manduriacu



Fuente: (Moreno, 2019) Nota. Se visualiza materia orgánica e inundación en zonas aledañas

Cualquier tipo de intervención en un cauce afecta el régimen natural del río, bajo este preámbulo se tiene que la presa Manduriacu afecta las circunstancias del río Guayllabamba agua abajo, más allá del 1.5 km que mencionaban en su estudio de plan de gestión ambiental, en la Figura 50, por ejemplo se puede determinar que el lavado del embalse provoca afectaciones a la provincia de Esmeraldas cuando el sedimento baja por los ríos Blanco y Esmeraldas perjudicando a las especies bioacuáticas de ocho asentamientos humanos a las orillas de estos ríos (Moreno, 2019).

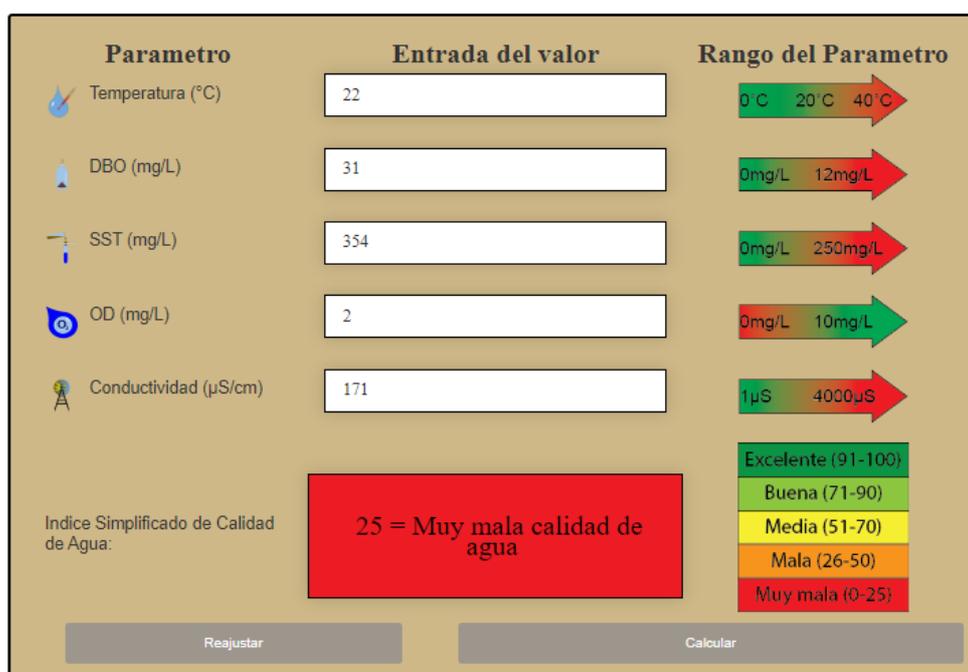
Figura 50. Afección río Guayllabamba aguas abajo después del lavado del embalse



Fuente: (Moreno, 2019)

El indicador de calidad de agua del instrumento de gestión en línea con una temperatura de 22°C, DBO de 31 mg/L, SST de 354 mg/L, OD de 2 mg/L y conductividad de 171 µS/cm; da como resultado que el agua tiene un índice de calidad igual a 25 categorizándose como muy mala, ver Figura 51.

Figura 51. Determinación índice de calidad de agua



Fuente: (University, 2020)

6.7. BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA DEFINIDA

Al optar para el presente proyecto investigativo por un análisis espacial a multi escala y una temporalidad anual, se requiere para el balance hídrico conocer la precipitación y evapotranspiración media de la cuenca, estos resultados se obtuvieron de los diferentes análisis realizados a lo largo del estudio, siendo la precipitación media de la cuenca igual 973,87 mm y la evapotranspiración igual a 88,41 mm. Se tiene entonces del balance hídrico que el caudal promedio de salida de la cuenca es de 885,46 mm

$$P - Q - ET = 0$$

$$P - ET = Q$$

$$Q = 973,87 - 88,41 = 885,46 \text{ mm}$$

El caudal medido en el punto de descarga de interés sección BM-9, es de 218,54 m³/s, igual a 993,60 mm, lo que implica que se tiene una diferencia de 108,14 mm con el caudal medio de la cuenca que se obtuvo del balance hídrico; esto se asume es a causa de la metodología aplicada para la obtención del dato in situ; puesto que, el mismo proviene de una resta de caudales, es probable exista afluentes mínimos que pasan desapercibidos y que incrementan el caudal en el punto de toma.

7. CONCLUSIONES

- 7.1. El estudio realizado infiere que la presencia de la presa Manduriacu en la cuenca baja del río Guayllabamba genera alteraciones del ecosistema en las zonas cercanas y circundantes a causa de su construcción y funcionamiento. Se afecta principalmente al ecosistema acuático con la pérdida de peces como el sábalo aguas abajo de la represa, incremento de agua sedimentada e inundaciones cuando se produce el vaciado y lavado del embalse; y la falta de caudal suficiente para respetar el caudal ecológico necesario en meses de sequía.

7.2. En base a los datos históricos meteorológicos registrados desde el año de 1990 a 2013 de todas las estaciones próximas al sitio de estudio, se tiene un caudal promedio de $167,36 \text{ m}^3/\text{s}$; el caudal medio propuesto por el estudio de factibilidad avanzada del diseño de la presa Manduriacu analizado desde 1965 a 2006 es igual a $168,5 \text{ m}^3/\text{s}$, lo que en primera instancia implica existe una correlación satisfactoria entre ambos datos y con un caudal ecológico máximo requerido de $212,2 \text{ m}^3/\text{s}$ y mínimo de $115,26 \text{ m}^3/\text{s}$; se concluye que en un análisis antes de la presencia de la presa únicamente se cumplía con el rango mínimo del caudal ecológico.

Con una medición de caudal in situ durante el mes de marzo de 2024 de $218,54 \text{ m}^3/\text{s}$ comparada con el caudal ecológico requerido, se tiene que cumple con el mayor rango; sin embargo, se debe tomar en cuenta que la medición se realizó un mes considerado como temporada de lluvia, por lo que resulta evidente la presencia constante de precipitaciones. Bajo este panorama general se puede decir que la presa Manduriacu no genera variación hidrológica aguas debajo de la cuenca.

No obstante, al realizar un análisis más meticuloso con respecto a los datos de caudal del año 2015 de la represa Manduriacu, se determina que únicamente los meses de avenidas como son de febrero hasta mayo se cumple con el caudal ecológico máximo solicitado; mientras para el resto de meses a fin de cumplir con el caudal de funcionamiento de las turbinas de $210 \text{ m}^3/\text{s}$ y careciendo de precipitaciones se optaría por el cierre de compuertas, interrumpiendo el cauce natural del río y por ende generando variaciones hidrológicas aguas abajo. Bajo la motivación de que la salida del agua desde la turbina es inmediata al río se podría concluir que bajo este panorama se tendría una pérdida de $2,2 \text{ m}^3/\text{s}$ para el caudal ecológico, que representa una pérdida mínima; pero si establecemos otro escenario factible en épocas de sequía en el cual únicamente funcione una turbina existiría una pérdida de $107,2 \text{ m}^3/\text{s}$; afectando gravemente al ecosistema acuático de la zona aguas abajo de la presa.

Con este antecedente se concluye entonces que hidrológicamente se cumple parcialmente con las dos hipótesis propuestas en este estudio; debido a que en épocas de lluvia es factible mantener el caudal ecológico sin generar afectaciones aguas abajo; mientras en épocas secas existe la posibilidad de no contar con el caudal suficiente para brindar un ecosistema acuático óptimo, durante esta temporada la presa implica un obstáculo que afecta el régimen natural del cauce aguas abajo, como bien se mencionó antes de su presencia ya existía una variación hidrológica considerable con referencia al caudal ecológico.

- 7.3. Mediante la caracterización de la cuenca se tiene que la misma mantiene una forma alargada, ligeramente achatada y de baja susceptibilidad a las crecientes; con una pendiente de terreno fuerte con presencia de quebradas. Presenta un cauce principal de pendiente suave y sinuosidad irregular, con un sistema de drenaje de bajo a moderado con tendencia a un avenamiento pobre. El trazado de la cuenca se mantiene en un sistema de elevación que va desde la cota 450 a 5877 msnm.
- 7.4. Del análisis de caudales ecológicos se tiene que el método de Hoppe aporta el mayor rango de caudal ecológico mientras el método ecuatoriano da como resultado el menor valor de $16,74 \text{ m}^3/\text{s}$, lo que garantiza una condición pobre para las formas de vida acuática.

Por ser el objetivo el determinar el caudal ecológico que brinde un ecosistema acuático óptimo se opta entonces por el caudal del método de Hoppe, ya que estos valores permiten el desarrollo de la mayoría de las especies acuáticas y permite satisfacer lo solicitado por los otros métodos restantes.

- 7.5. El caudal ecológico del método de Hoppe, Tennant, método ecuatoriano y 7Q10 emplea en su procedimiento los caudales obtenidos mediante el tratamiento de series históricas, siendo el punto débil de esta metodología

la carencia de datos actualizados y la dificultad de conseguir las respectivas series de parámetros hidro meteorológicos diarias, mensuales y anuales; por lo que, se evaluó únicamente los años de 1990 a 2013.

- 7.6. El caudal ecológico del perímetro mojado se basa en información hidráulica del área de estudio, como: topografía, profundidades del agua, mediciones limnimétricas y velocidades; parámetros que al ser tratados y simulados adecuadamente en softwares como ARC-GIS y HEC-RAS respectivamente ofrecen como resultados caudales representativos de la zona de estudio. El margen de error de esta metodología está en el procedimiento ejecutado para la obtención de datos, por tanto, para el estudio se complementó con información facilitada por parte de la unidad de Negocio Coca Codo Sinclair de CELEC, con referencia al estudio de factibilidad avanzada que fue llevado a cabo por HIDROEQUINOCCIO mediante consultoría para el diseño de la obra civil Manduriacu.
- 7.7. Conforme el examen de calidad del agua en el punto de descarga se tiene que al pasar del tiempo el agua presenta una mayor contaminación y bajo un índice de calidad de 25 se le considera mala. Además, no cumple con los parámetros necesarios para mantener el ecosistema acuático según la normativa ambiental ecuatoriana.
- 7.8. Del balance hídrico se tiene que entre el caudal de descarga calculado mediante el balance hídrico de la cuenca y el caudal medido in situ existe una diferencia de 106,45 mm, esto puede deberse a la incertidumbre de la toma de datos.
- 7.9. La dificultad para este tipo de análisis hidrológicos radica en la obtención de datos actualizados; así como el ingreso al punto de interés, debido a que las instituciones que poseen esta información la entrada imparten un sistema burocrático complicado para poder acceder.

REFERENCIAS

- Aguilera, G., & Pouilly, M. (2012). Caudal ecológico: definiciones, metodologías y adaptación a la región andina. *Acta Zoológica Lilloana*, 56(1–2), 15–30.
- Arevalo, H. V. (2011). APLICACIÓN DEL MODELO GR2m.
- Arias, V. (2012). Los caudales ecológicos en el Ecuador: análisis institucional y legal. *Centro Ecuatoriano de Derecho Ambiental*, 24, 1–8.
<http://191.98.188.189/Fulltext/15663.pdf>
- Bustos, M. S., & Georgieff, S. M. (2020). Análisis morfométrico de los principales tributarios del río Salí en la cuenca de Tapia – Trancas a partir del procesamiento en SIG y sensoramiento remoto. *Acta Geológica Lilloana*, 32, 27–46.
<https://doi.org/10.30550/j.agl/2020.32.1-2/2>
- Camino, Mariana; Bó, M. J., Cionchi, J. L., López de Armentia, A., Del Río, J. L., & De Marco, S. G. (2018). Estudio morfométrico de las cuencas de drenaje de la vertiente sur del sudeste de la provincia de Buenos Aires. *Revista Universitaria de Geografía*, 27(1), 73–97.
http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852-42652018000100005&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Cañibano, A., Patricia, V., & Rodolfo, D. (2016). Área Y Perímetro Para La Caracterización De Formas. *Suma*, 83, 25–32.
- CELEC EP. (2011). MEMORIA DESCRIPTIVA DEL PROYECTO Y PLANOS (pp. 1–53). CELEC EP.
- CELEC EP (Corporación Eléctrica del Ecuador). (2015). Ficha Informativa de Proyecto 2014 Subgerencia Proyecto Manduriacu (pp. 3–5).
- Claudio S. M. Consuegra Martínez. (2013). SÍNTESIS METODOLÓGICA PARA LA OBTENCIÓN DE CAUDALES ECOLÓGICOS (Q_e), RESULTADOS Y POSIBLES CONSECUENCIAS. In *Escuela Colombiana De Ingeniería Julio Garavito Posgrados En Ingeniería Civil (Vol. 53)*.
- Delgado, A., Fernando, L., Soto, S., & José, A. (2020a). Cálculo del caudal ecológico usando los métodos hidrológicos, hidráulicos y simulación de hábitat en la cuenca del Río Rímac. In *Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)*.
- Delgado, A., Fernando, L., Soto, S., & José, A. (2020b). Cálculo del caudal ecológico

- usando los métodos hidrológicos, hidráulicos y simulación de hábitat en la cuenca del Río Rímac. In Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC).
<https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/648677>
- Encalada, A. (2010). Funciones ecosistémicas y diversidad de los ríos. Reflexiones sobre el concepto de caudal ecológico y su aplicación en el Ecuador. *PolémKa*, Vol. 2 Núm. <https://revistas.usfq.edu.ec/index.php/polemika/article/view/370>
- Fuentes, J. D. J. (2004). Análisis morfométrico de cuencas: Caso de estudio del Parque Nacional Pico de Tancitaro. *Instituto Nacional de Ecología*, 1–47.
http://www.inecc.gob.mx/descargas/cuencas/morfometria_pico_tancitaro.pdf
- García, D., & González, M. (1984). El Concepto De Caudal Ecológico Y Criterios Para Su Aplicación En Los Ríos Españoles. Universidad Politécnica de Madrid, 10.
<http://ocw.um.es/ciencias/ecologia/ejercicios-proyectos-y-casos-1/jalon-tanago-1998.pdf>
- HidroEquinoccio. (2011a). Estudios de prefactibilidad y factibilidad de los proyectos hidroeléctricos Chirapi Manduriacu. Proyecto Hidroeléctrico Manduriacu. Fase III. Estudios de Factibilidad Avanzada. Anexo 2 Meteorología, Hidrología y Sedimentología. Tomo 3.
- HidroEquinoccio. (2011b). ESTUDIOS DE PREFACTIBILIDAD Y FACTIBILIDAD DE LOS PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS CHIRAPI MANDURIACU. PROYECTO HIDROELÉCTRICO MANDURIACU FASE III . ESTUDIOS DE FACTIBILIDAD AVANZADA TOMO 1 ANEXO 2 METEOROLOGÍA , HIDROLOGÍA Y SEDIMENTOLOGÍA (pp. 1–256).
- HIDROEQUINOCCIO. (2012). Estudio de Impacto Ambiental Definitivo (EIAD) DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO MANDURIACU. EIAD Expost, 1–338.
- Jardi, M. (1985). Analisis de las variables morfométricas que nos la definen. *Revista de Geografía*, 19(1), 41–68.
- Meza Aliaga, M., Rodríguez Valdivia, A., Corvacho Ganahín, O., & Tapia Tosetti, A. (2014). ANÁLISIS MORFOMÉTRICO DE MICROCUENCAS AFECTADAS POR FLUJOS DE DETRITOS BAJO PRECIPITACIÓN INTENSA EN LA QUEBRADA DE CAMIÑA, NORTE GRANDE DE CHILE. *Diálogo Andino*, 44, 15–24.
<https://doi.org/10.4067/S0719-26812014000200003>
- Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables. (2017). Plan Maestro de

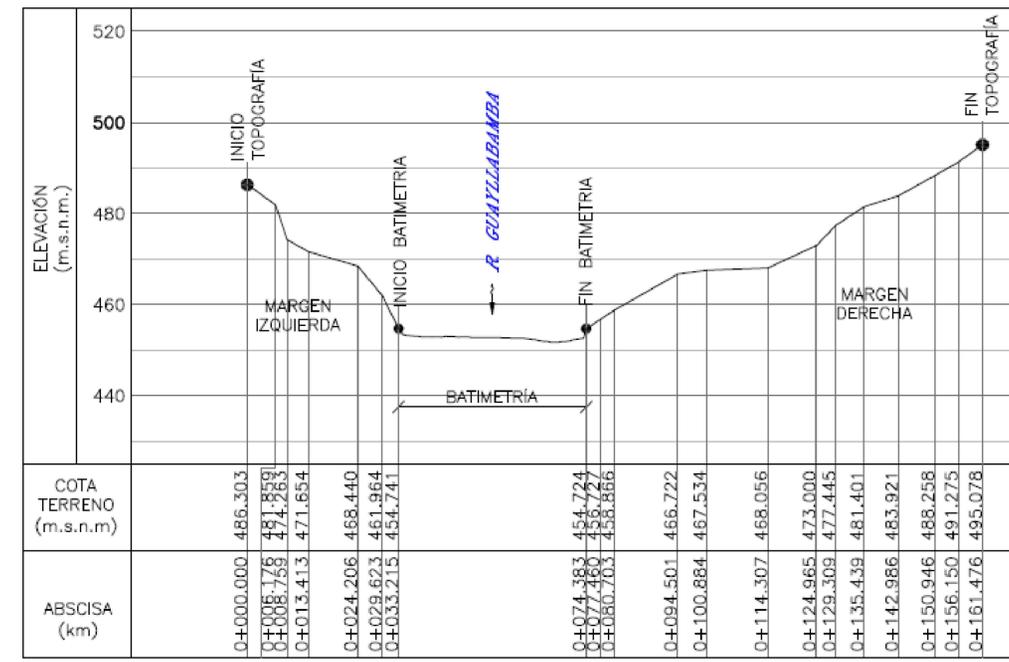
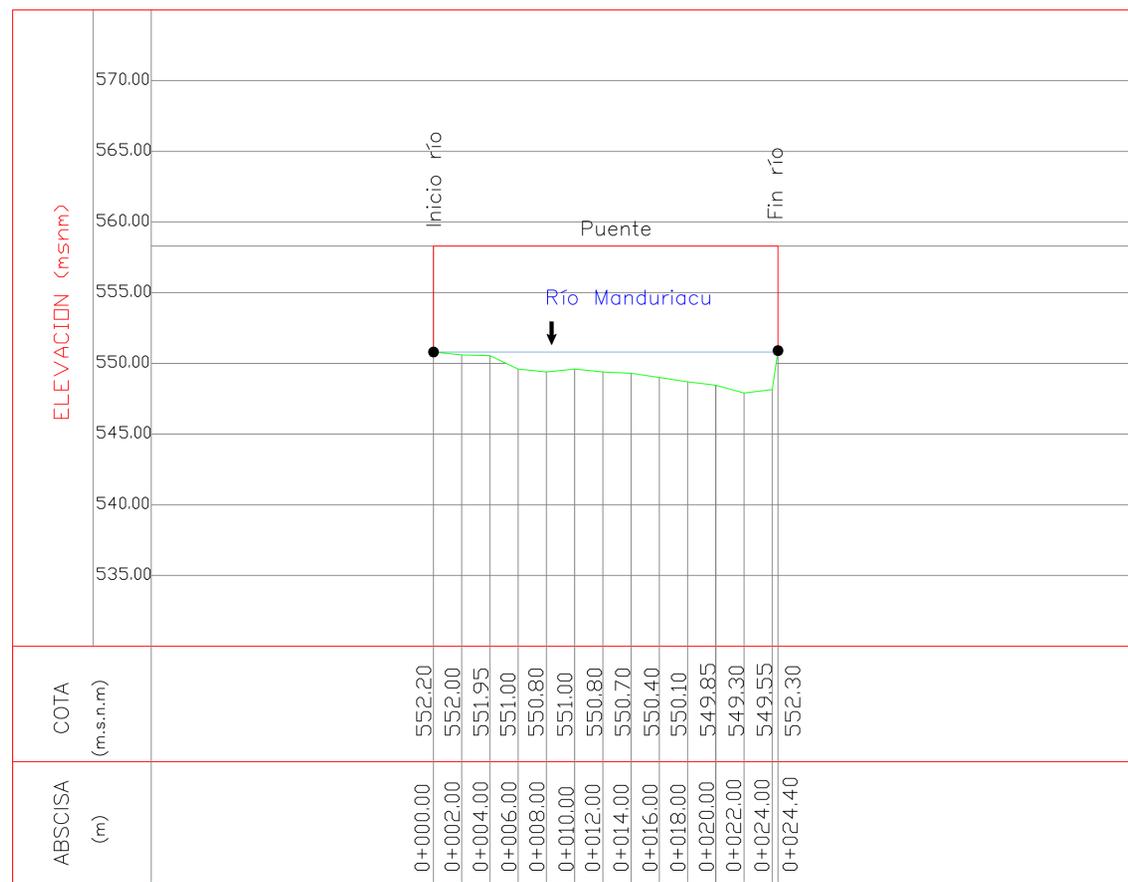
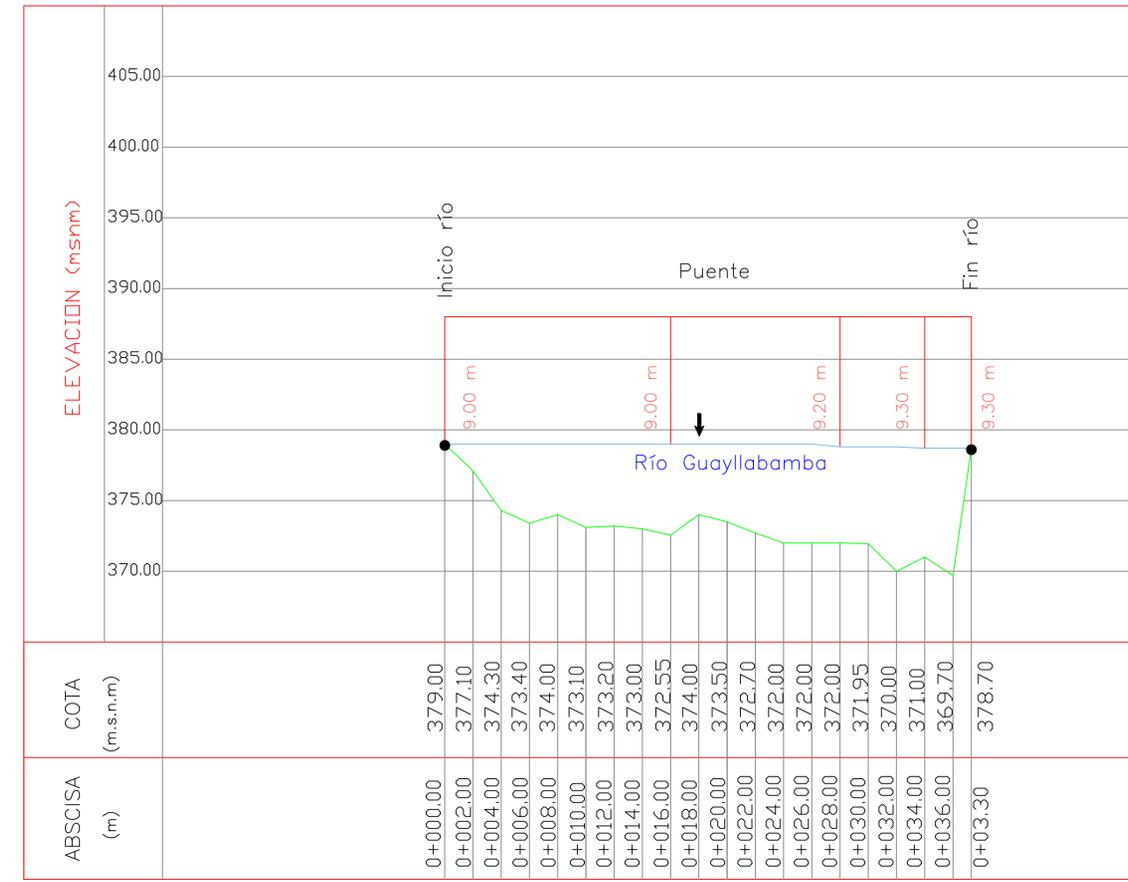
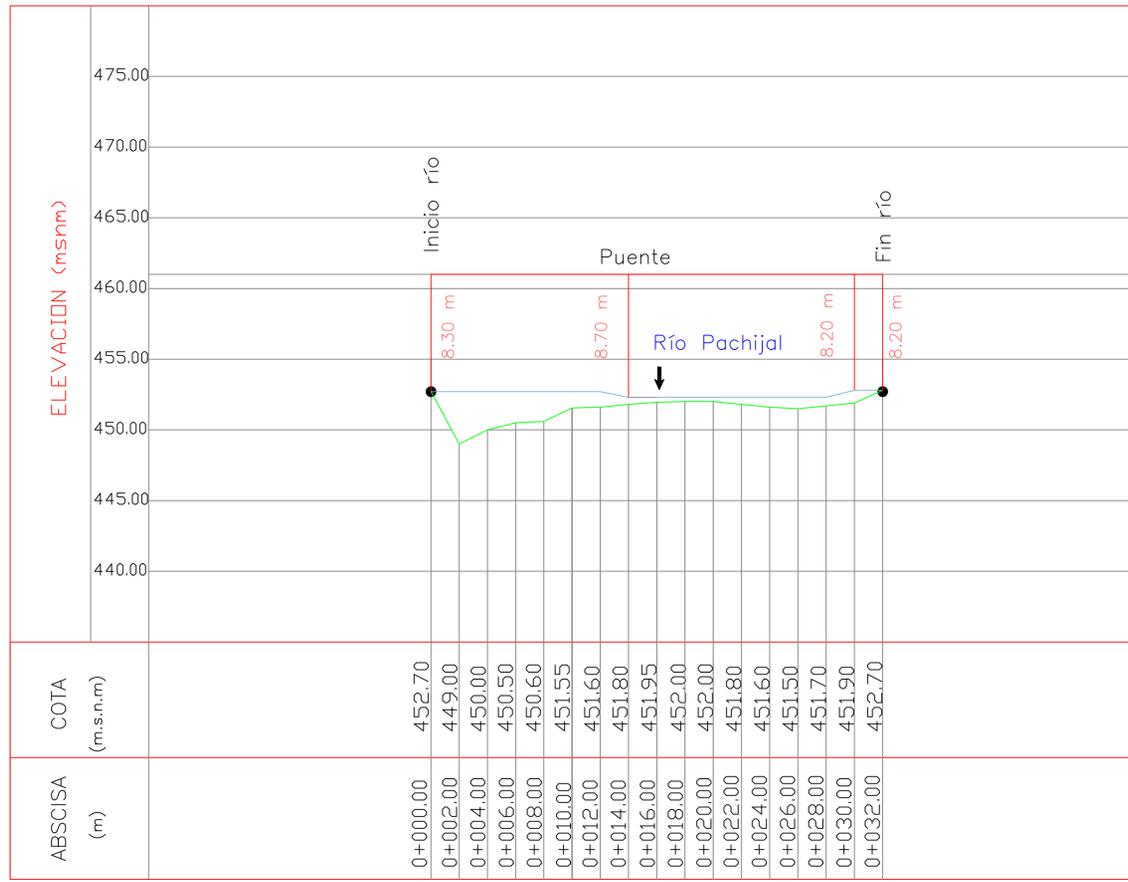
- Electricidad 2016-2025. In Celec EP (p. 439).
<https://www.celec.gob.ec/hidroagoyan/index.php/plan-maestro-de-electricidad-2016-2025>
- Ministerio del Ambiente. (2011). Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes : Recurso Agua. In TULAS Texto unificado de legislación secundaria del Ministerio del Ambiente (pp. 8–9).
- Moreno, M. (2019). Caudales ambientales como herramienta para la gobernanza hídrica: limitaciones discursivas y debates para su aplicación en la actividad hidroeléctrica del país.
- Moriasi, D., Arnold, J., Liew, M. W. Van, Bingner, R., & Veith, T. . (2007). Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. *Transactions of Th ASABE*, 50 (3)(May 2014), 885–900.
<https://doi.org/10.13031/2013.23153>
- Orellana, C. (2015). Escenarios Hidrológicos en la Cuenca del río Guayllabamba: Modelación del Caudales Mínimos. [Escuela Politécnica Nacional].
<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/10641>
- Oyola, T. (2017). Propuesta metodológica para estimación de caudal ecológico en fuentes superficiales [Universidad Técnica de Machala Unidad Académica de Ingeniería Civil]. <http://repo.uta.edu.ec/bitstream/123456789/18404/1/tesis-010>
Gestión de Empresas Agrícolas y manejo de poscosecha -CD 338.pdf
- Pichincha, E. P. (2012). Proyecto Hidroeléctrico El Salto.
- Quintero Salazar, H. D., Avila Rincón, L. T., & Avila Rincón, L. A. (2016). Morfometría de la cuenca Montaéra. Universidad Libre Ingeniería Ambiental.
- Rincon Achury, L. V. (2019). Aplicación de los modelos lluvia - escorrentía GR2M y GR4J en la cuenca del río Guali para la gestión de los recursos hídricos [Universidad Santo Tomás Facultad de Ingeniería Ambiental].
<https://www.infodesign.org.br/infodesign/article/view/355%0Ahttp://www.abergo.org.br/revista/index.php/ae/article/view/731%0Ahttp://www.abergo.org.br/revista/index.php/ae/article/view/269%0Ahttp://www.abergo.org.br/revista/index.php/ae/article/view/106%0A>
- Rodríguez, Y., Fernández, C., & León, A. (2018). Influencia del método de estimación en el coeficiente de Manning para cauces naturales Influence of the estimation

- method on Manning coefficient in natural channels. January.
- SENAGUA. (2016). National Plan for Integrated and Comprehensive Management of Water Resources and basins and Micro-basins of Ecuador. CISPDR, 602.
http://suia.ambiente.gob.ec/?page_id=495
- Senciales, J. M. (1998). El análisis morfológico de las cuencas fluviales aplicado al estudio hidrográfico. *Norba. Revista de Geografía*, 10, 155–184.
- TAIAO. (2016). Proyecto Hidroeléctrico El Salto de 30 MW y línea de transmisión eléctrica a 230 KV.
- Tasipanta, M. (2019). Propuesta de espacios compensatorios como elementos reactivadores y atractores del manejo espacial microregional en áreas naturales intervenidas por las megaconstrucciones; Caso de estudio Manduriacu. Universidad Central del Ecuador Facultad de Arquitectura y Urbanismo Carrera de Arquitectura.
- Tribunal Constitucional. (2007). Libro VI: De la Calidad Ambiental del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente. In *Registro Oficial: Vol. VI* (pp. 1–79).
https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento_Normas-ambientales-Sectores-Elctrico-Telecomunicaciones-Transporte.pdf
- Trujillo, A. R., Barroso, F. U., & Escobar, Y. C. (2010). Guía básica para la caracterización morfométrica de cuencas hidrográficas (Universida).
https://scholar.google.com/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=sinuosidad+del+cauce+principal&btnG=#d=gs_cit&t=1692648695882&u=%2Fscholar%3Fq%3Dinfo%3Apr5XvnV9rMJ%3Ascholar.google.com%2F%26output%3Dcite%26scirp%3D1%26hl%3Des
- University, P. (2020). Instrumentos de gestión en línea. Calculadora del índice simplificado del agua. <https://www.agry.purdue.edu/hydrology/projects/nexus-swm/es/Tools/WaterQualityCalculator.php>
- Viramontes, O. A., Escoboza, L. F., Pinedo, C., Pinedo, A., Reyes, V. M., Román, J. A., & Pérez, A. (2008). Morfometría de la cuenca del río San Pedro, Conchos, Chihuahua. *Tecnociencia*, 1(3), 1–11.

ANEXOS

1. Carpeta con Herramientas de QGis
2. Carpeta con Scripts de RStudio
3. Láminas de la ubicación de los puntos de toma y secciones hidráulicas
4. Mediciones en campo
5. Modelo en HEC RAS
6. Archivo *.xlsx con mediciones diarias y semanales de caudales en el sitio de toma
7. Archivo *.xlsx de caudales con perímetro mojado de la sección de descarga

ANEXO 3



SECCIÓN BM-9.
FUENTE: CELEC

ESC: _____ S/E



MAESTRÍA EN SISTEMAS HIDRÁULICOS URBANOS DE ABASTECIMIENTO Y PROTECCIÓN

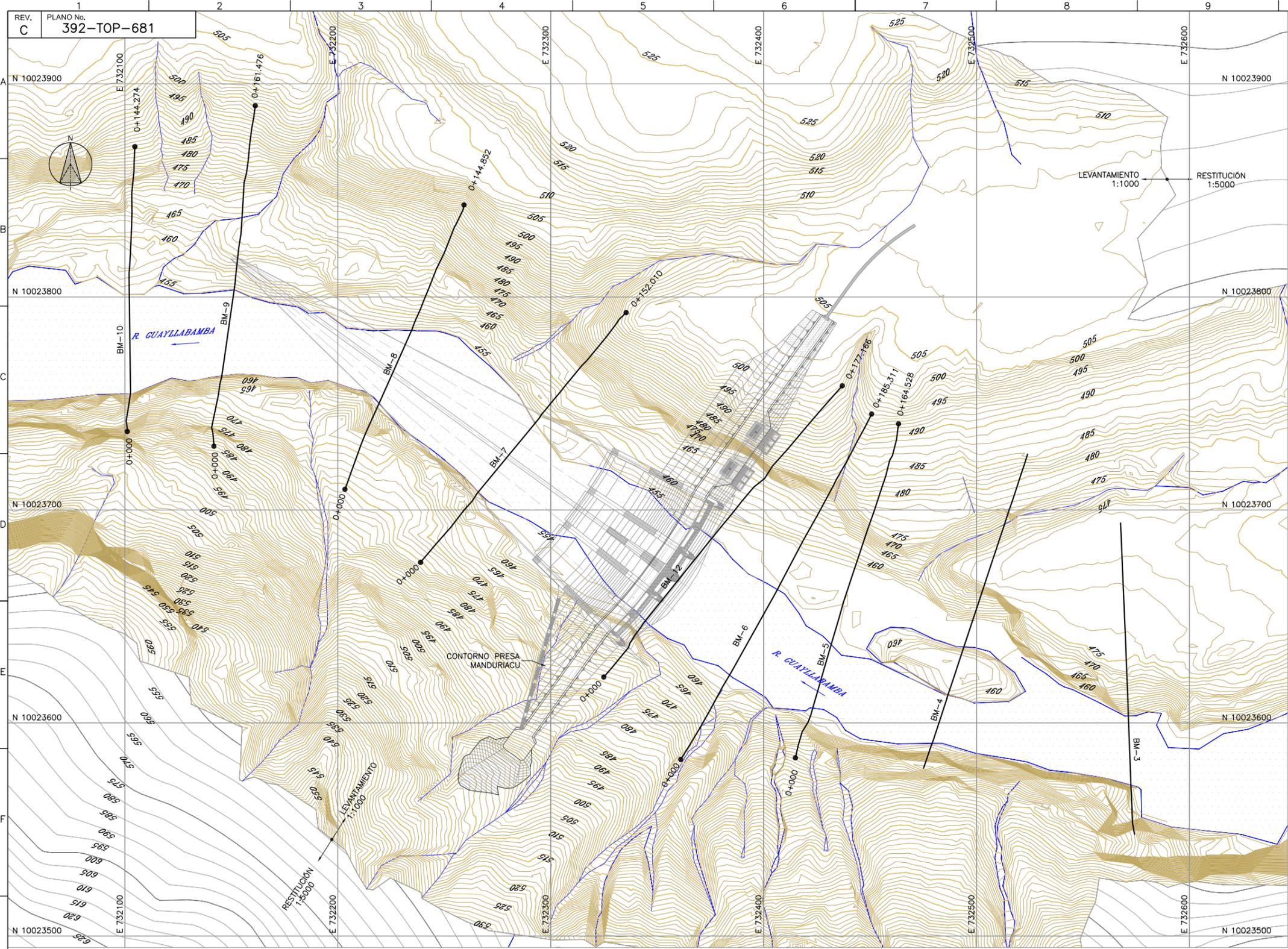
Proyecto de titulación: EVALUACIÓN DEL CAUDAL ECOLÓGICO Y SU RELACIÓN CON LAS VARIACIONES HIDROLÓGICAS EN EL CURSO INFERIOR DEL RÍO GUAYLLABAMBA CON LA REPRESA HIDROELÉCTRICA MANDURIACU

Contiene: Secciones Río Guayllabamba Escala: Indicadas Lámina: T01
Fecha: Mayo 2024

Realizado:



Ing. Dennisse Criollo
1079-2019-205326



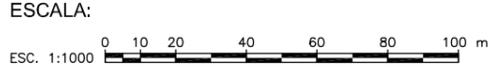
PLANTA
ESC. 1:1000

UBICACIÓN EJES BATIMÉTRICOS						
NOMBRE	MARGEN IZQUIERDA			MARGEN DERECHA		
	NORTE	ESTE	ELEVACIÓN	NORTE	ESTE	ELEVACIÓN
BM-5	10 023 583.68	732 414.98	475.396	10 023 740.47	732 463.40	493.424
BM-6	10 023 582.93	732 361.11	475.491	10 023 745.06	732 450.77	495.180
BM-7	10 023 675.44	732 238.91	475.341	10 023 792.67	732 335.48	500.640
BM-8	10 023 709.75	732 203.40	475.855	10 023 843.19	732 259.28	495.054
BM-9	10 023 729.96	732 141.87	486.303	10 023 889.85	732 161.27	495.078
BM-10	10 023 736.88	732 101.15	485.872	10 023 870.58	732 104.73	485.869
BM-12	10 023 621.60	732 324.96	475.119	100 23 758.32	732 436.99	500.611

SIMBOLOGÍA	
	EJES BATIMÉTRICOS
	DRENAJE NATURAL
	CURVA DE NIVEL ÍNDICE - CARTOGRAFIA
	CURVA DE NIVEL ÍNDICE LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO
	CURVA DE NIVEL SECUNDARIA - CARTOGRAFIA
	CURVA DE NIVEL SECUNDARIA LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

ABREVIATURAS:
R. RÍO
BM. BATIMETRÍAS MANDURIACU SECTOR PRESA

- NOTAS:
- TODAS LAS DIMENSIONES ESTÁN DADAS EN METROS Y LAS ELEVACIONES EN METROS SOBRE EL NIVEL DEL MAR, A NO SER QUE SE ESPECIFIQUE UNA UNIDAD DIFERENTE.
 - LA NOMENCLATURA DE LAS COORDENADAS ESTÁ DE ACUERDO A LA NORMA UTILIZADA POR EL I.G.M. (INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR DEL ECUADOR) Y REFERIDAS AL SISTEMA WGS-84.



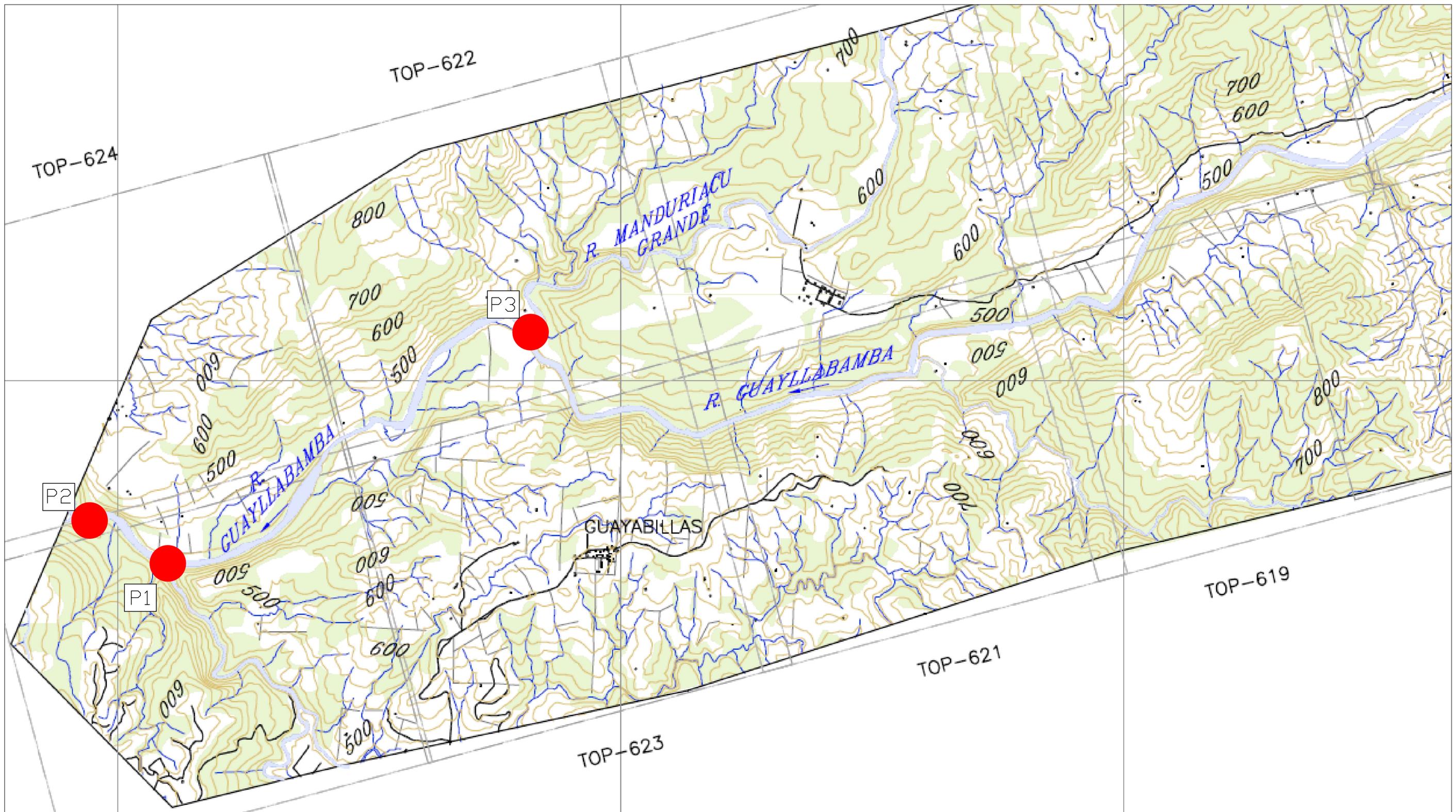
REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA	POR	DIBUJO	REVISADO	APR.
C	APROBADO POR HEQ	2012-02	WLe	TCA	RBu	
B	REVISIÓN GENERAL	2011-12	WLe	TCA	RBu	
A	PLANO PARA LICITACIÓN	2011-09	WLe	TCA	RBu	

PROYECTO HIDROELÉCTRICO MANDURIACU
ESTUDIOS DE FACTIBILIDAD AVANZADA

CONTIENE: BATIMETRÍAS - UBICACIÓN
BM-5 A BM-10 Y BM-12

DIBUJO: CONSORCIO TCA	APROBADO POR TCA: ING. FRANCOIS ESTEULLE DIRECTOR DEL PROYECTO
DISEÑO: WLe	APROBADO POR HEQ: _____ ESPECIALISTA SUPERVISOR
REVISADO POR: ING. RICARDO BUITRÓN AGUIRRE	
HOJA No. 2 DE 4	PLANO No. 392-TOP-681
REVISIÓN: C	FECHA: 2011-09

\\SERVER4\G100\392\BIB\XRF\ENTREGAS\FAC-AVZ\MANDURIACU\APROBADOS\HEQ-ENE-2012\TOP\392-TOP-681-C.DWG



IMPLANTACIÓN GENERAL REPRESA MANDURIACU
FUENTE: CELEC

ESC. _____ S/E



MAESTRÍA EN SISTEMAS HIDRÁULICOS
URBANOS DE ABASTECIMIENTO Y
PROTECCIÓN

Proyecto de titulación: EVALUACIÓN DEL CAUDAL ECOLÓGICO Y SU RELACIÓN CON LAS VARIACIONES
HIDROLÓGICAS EN EL CURSO INFERIOR DEL RÍO GUAYLLABAMBA CON LA REPRESA
HIDROELÉCTRICA MANDURIACU

Contiene: Implantación General Ríos Afluentes Escala: Indicadas Lámina: T03
Fecha: Mayo 2024

Realizado:

 Ing. Dennis Criollo
 1079-2019-205326

P1: RÍO PACHIJAL
P2: SECCIÓN RÍO GUAYLLABAMBA
P3: RÍO CIELO VERDE