



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**LA IMPORTANCIA DE ORDENAR LAS SUBCUENCAS HÍDRICAS Y REGULAR LOS
RÍOS DE CUENCA**

Trabajo de titulación previo a la obtención
del título de Ingeniera Ambiental

AUTORA: JENNIFER CRISTINA CAJAMARCA BUELE
TUTOR: ING. RUBÉN FERNANDO JERVES COBO, Ph.D.

Cuenca - Ecuador
2022

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Jennifer Cristina Cajamarca Buele con documento de identificación N° 0106459894 manifiesto que:

Soy la autora y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 25 de abril del 2022

Atentamente,



Jennifer Cristina Cajamarca Buele

0106459894

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Yo, Jennifer Cristina Cajamarca Buele con documento de identificación N° 0106459894, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autora del Trabajo Experimental: “La importancia de ordenar las subcuencas hídricas y regular los ríos de Cuenca”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera Ambiental, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 25 de abril del 2022

Atentamente,



Jennifer Cristina Cajamarca Buele

0106459894

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Rubén Fernando Jerves Cobo con documento de identificación N° 0102017027, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: LA IMPORTANCIA DE ORDENAR LAS SUBCUENCAS HÍDRICAS Y REGULAR LOS RÍOS DE CUENCA, realizado por Jennifer Cristina Cajamarca Buele con documento de identificación N° 0106459894, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Trabajo Experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 25 de abril del 2022

Atentamente,



Firmado electrónicamente por:

**RUBEN
FERNANDO
JERVES COBO**

Ing. Rubén Fernando Jerves Cobo, Ph.D.

0102017027

DEDICATORIA

Dedico mi trabajo de tesis a mi familia. Un sentimiento especial de gratitud a mis amados padres, Gladys y Ángel, cuyas palabras de aliento y empuje me ayudaron a seguir adelante. Mi hermana Katherine que siempre estuvo dándome aliento para seguir adelante.

También dedico al Ingeniero Gonzalo que me ha apoyado durante todo el proceso. Siempre apreciaré todo lo que ha hecho, por ayudarme a desarrollar mis habilidades.

¡Gracias!

AGRADECIMIENTOS

Por el constante apoyo en este trabajo, mi reconocimiento especial a mi tutor Ing. Rubén Jerves Cobo PhD, el cual me ayudo con sus conocimientos y por las horas de revisión hasta concluir mi trabajo de titulación y a la Universidad Politécnica Salesiana por darme la oportunidad de cumplir esta meta.

RESUMEN

El presente trabajo de titulación tiene como finalidad, demostrar la importancia de ordenar las cuencas hídricas y regular los ríos de Cuenca, tomando como un ejemplo claro la cuenca del río Machángara. La cuenca en mención cuenta con una excelente gestión y aprovechamiento, lo que ha permitido la regulación del caudal, con la presencia de los embalses Labrado y Chanlud. A diferencia de la subcuenca del Machángara, en las cuencas del Yanuncay, Tarqui y Tomebamba existe un deterioro, debido principalmente a la expansión rural, ganadería y agricultura.

Consecuentemente para encontrar la diferencia entre las cuencas hídricas, se utilizó registros de caudales mínimos, medios y máximos de las estaciones limnimétricas y meteorológicas que se encuentran en las cuencas altas. Con la finalidad de demostrar cómo es el comportamiento de los caudales en épocas de estiaje y en épocas de lluvia y cómo el cambio climático puede perjudicar al recurso hídrico. Por lo cual, se debe entender la importancia de regular los ríos mediante el almacenamiento en las cuencas altas.

Con esta finalidad, se intentó determinar si la implementación de los embalses y represas en los territorios es algo positivo o negativo para la población. En conjunto, se realizaron entrevistas a personas de las dos cuencas hídricas Machángara y Yanuncay para saber su opinión, así como a funcionarios de la empresa ElecAustro S.A., lo que permitió aclarar la importancia que tiene almacenar el agua. Mostrándose también los beneficios que han tenido las comunidades vecinas a las centrales hidroeléctricas.

Sin embargo, debido a la oposición de la población de Soldados se han propuesto estrategias que la empresa ElecAustro S.A., debería implementar, a más, de las que se han estado implementando últimamente; con la finalidad de evidenciar con más claridad lo que ya se realizó en la cuenca del Machángara y que se podría replicar en la subcuenca del río Yanuncay.

Palabras claves: Embalse, represas, Machángara, cuencas hídricas, Yanuncay.

ABSTRACT

The purpose of this titling work is to demonstrate the importance of organizing the watersheds and regulating the rivers of Cuenca. Taking as a clear example: the Machángara river basin; which has excellent management and use. This has allowed the regulation of the flow, with the presence of the reservoirs: Labrado and Chanlud; unlike the Yanuncay, Tarqui and Tomebamba basins. This has generated a deterioration in the basins, due to rural expansion, livestock and agriculture.

Consequently, to find the difference between the water basins, records of minimum, average and maximum flows of the meteorological stations located in the high basins were used. To show how the flows behave in dry seasons and in rainy seasons and how climate change can harm water resources. Therefore, the importance of regulating rivers through storage in upper basins must be understood, before it is too late.

To this end, an attempt was made to determine whether the implementation of reservoirs and dams in the territories is something positive or negative for the population. As a whole, interviews were conducted with people from the two Machángara and Yanuncay watersheds to find out their opinion, as well as officials from the company ElecAustro S.A. which allowed clarifying the importance of storing water. Also showing the benefits that the communities have had, in which the construction of hydroelectric plants has taken place, benefiting them in their community development.

However, due to the opposition of the population of Soldiers, strategies have been proposed that the company ElecAustro S.A. should implement. In addition to those that have been implemented lately, in order to demonstrate more clearly what has already been done in the Machángara basin and that could be replicated in the Yanuncay.

Keywords: Reservoir, dams, Machángara, water basins, Yanuncay.

Índice General

Capítulo 1: Introducción.....	1
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Justificación.....	3
1.3. Hipótesis.....	4
1.4. Objetivos.....	5
1.4.1. Objetivo general.....	5
1.4.2. Objetivos específicos.....	5
Capítulo 2: Marco teórico.....	6
2.1. Las cuencas hidrográficas.....	6
2.2. Definiciones de cuencas hidrográficas.....	7
2.3. Gobernanza del agua y la gestión de las cuencas hidrográficas.....	7
2.3.1. Gestión o Gobernanza del agua.....	7
2.3.2. Gestión de las cuencas hidrográficas.....	8
2.4. Zonas funcionales de las cuencas hídricas.....	9
2.5. Clasificación de las cuencas hidrográficas.....	10
2.5.1. Tipos de cuencas por su tamaño.....	10
2.5.2. Clasificación por su forma.....	10
2.5.3. Por su ecosistema.....	11
2.5.4. Por su objetivo.....	11
2.5.5. Características Morfométricas y Fisiográficas de la Cuenca.....	11
2.6. Diagnóstico de una cuenca hidrográfica.....	12
2.7. Las cuencas hídricas en el Ecuador.....	13
2.8. Leyes del uso del agua en el Ecuador.....	15
2.9. El cambio climático: inundaciones y sequías más severas.....	17
2.9.1. Cambio climático en el Ecuador.....	18
2.10. Presas para regulación de caudales.....	18
Capítulo 3: Descripción de las cuatro subcuencas.....	22
3.1. Cuenca del río Paute.....	22
3.1.1. División en subcuencas.....	22
3.2. Subcuenca del río Yanuncay.....	23
3.2.1. Componentes físicos.....	23
3.2.1.1. Localización.....	23
3.2.1.2. Clima.....	23

3.2.1.3. Geomorfología	23
3.2.1.4. Hidrología.....	23
3.2.1.5. Edafología	26
3.2.2. Componentes biológicos	27
3.2.2.1. Flora	27
3.2.2.2. Fauna	27
3.2.2.3. Áreas protegidas	27
3.2.2.4. Áreas erosionadas.....	27
3.2.2.5. Actividades de degradación de la subcuenca	28
3.2.3. Componentes sociales	28
3.2.3.1. Escolaridad	28
3.2.3.2. Salud.....	28
3.2.3.3. Pobreza	28
3.2.3.4. Servicios básicos	29
3.2.4. Componentes económicos	29
3.2.4.1. Actividades productivas de la subcuenca.....	29
3.3. Subcuenca del río Tomebamba.....	30
3.3.1 Componentes físicos	30
3.3.1.1. Localización	30
3.3.1.2. Clima	30
3.3.1.3. Geomorfología	30
3.3.1.4. Hidrología.....	30
3.3.1.5. Edafología	33
3.3.2. Componentes biológicos	33
3.3.2.1. Flora	33
3.3.2.2. Fauna	33
3.3.2.3. Áreas protegidas	33
3.3.2.4. Áreas erosionadas.....	34
3.3.2.5. Actividades de degradación de la subcuenca	34
3.3.3. Componentes sociales	34
3.3.3.1. Escolaridad	34
3.3.3.2. Salud.....	35
3.3.3.3. Pobreza	35
3.3.3.4. Servicios básicos	35

3.3.4. Componentes económicos	35
3.3.4.1. Actividades productivas de la subcuenca.....	35
3.4. Subcuenca del río Tarqui.....	36
3.4.1. Componentes físicos	36
3.4.1.1. Localización	36
3.4.1.2. Clima	36
3.4.1.3. Geomorfología	36
3.4.1.4. Hidrología.....	36
3.4.1.5. Edafología	39
3.4.2. Componentes biológicos.....	39
3.4.2.1. Flora	39
3.4.2.2. Fauna	40
3.4.2.3. Áreas protegidas.....	40
3.4.2.4. Áreas erosionadas.....	40
3.4.2.5. Actividades de degradación de la subcuenca	40
3.4.3. Componentes sociales	40
3.4.3.1. Escolaridad	40
3.4.3.2. Pobreza	41
3.4.3.3. Servicios básicos	41
3.4.4. Componentes económicos	41
3.4.4.1. Actividades productivas de la subcuenca.....	41
3.5. Subcuenca del río Machángara.....	42
3.5.1. Componentes físicos	42
3.5.1.1. Localización.....	42
3.5.1.2. Clima	42
3.5.1.3. Geomorfología	42
3.5.1.4. Hidrología.....	42
3.5.1.5. Edafología	45
3.5.2. Componentes biológicos.....	45
3.5.2.1. Flora	45
3.5.2.2. Fauna	46
3.5.2.3. Áreas protegidas.....	46
3.5.2.4. Áreas erosionadas.....	46
3.5.2.5. Degradación de la subcuenca	47

3.5.3. Componentes sociales	47
3.5.3.1. Escolaridad	47
3.5.3.2. Salud.....	47
3.5.3.3. Pobreza	47
3.5.3.4. Servicios básicos	48
3.5.4. Componentes económicos	48
3.5.4.1. Actividades productivas de la subcuenca.....	48
Capítulo 4: Represas, embalses, importancia y cuidado ambiental	49
4.1. Las represas y embalses.....	49
4.2. Importancia de los embalses.....	49
4.2.1. Infraestructura hidráulica muy segura.....	49
4.2.1.1. Objetivo de la seguridad de presas.....	51
4.2.1.2. Sistema de gestión de la seguridad de las presas/normas para la seguridad de presas	51
4.2.2. La importancia de las presas frente al cambio climático	52
4.2.2.1. Efecto laminador de las presas.....	52
4.2.2.2. Almacenamiento de las presas	53
4.2.3. La importancia de las presas para el desarrollo social	53
4.2.3.1. Navegación	53
4.2.3.2. Riego	54
4.2.3.3. Abastecimiento de agua municipal e industrial	54
4.2.3.4. Recreación y otros fines.....	54
4.3. Consideraciones ambientales y sociales en los embalses	54
4.4. Presas o Represas.....	55
4.4.1. Presas de materiales compactados.....	55
4.4.2. Presas de hormigón	56
4.5. Embalses.....	56
4.5.1. Zonas de un embalse	57
4.5.2. Estructuras que conforman los embalses	58
4.5.2.1. Estructura de retención de agua	58
4.5.2.2. Estructura de liberación de agua	58
4.5.2.3. Estructura de transporte de agua	58
4.5.3. Ventajas de los embalses.....	58
4.5.4. Desventajas de los embalses	59

4.5.5.	Características físicas de lagos y embalses	60
4.5.6.	Volúmenes característicos de un embalse.....	61
4.5.7.	Clasificación de embalses por tamaño	62
4.5.8.	Embalses del mundo.....	62
4.5.9.	Volumen de los embalses en Ecuador.....	63
4.5.10.	Volumen de las lagunas del Parque Nacional el Cajas.....	63
4.5.11.	Características limnológicas de los embalses.....	64
4.6.	Estratificación térmica de un ecosistema acuático	64
4.7.	Principales problemáticas en la gestión ambiental	65
4.7.1.	Consecuencias ambientales por la regulación del caudal.....	65
4.7.2.	Eutrofización	66
4.7.3.	Efectos ambientales por colmatación de un embalse	66
4.7.4.	Introducción de especies exóticas y especies invasoras.....	66
4.7.5.	Modificación del régimen térmico fluvial.....	66
4.7.6.	Efectos del cambio climático	67
4.7.7.	Efectos ambientales en las diferentes fases del proyecto.....	67
4.7.7.1.	Fase de construcción del embalse	67
4.7.7.2.	Fase de operación del embalse.....	68
4.7.7.3.	Fase de mantenimiento	69
4.8.	Medidas De Mitigación	70
4.8.1.	Medidas para la protección de un embalse.....	70
4.9.	La contribución de la limnología a la gestión de embalses	70
4.9.1.	Desestratificación artificial	70
4.9.2.	Trampa y acarreo.....	70
Capítulo 5: Cuenca del río Machángara		71
5.1.	Descripción de la cuenca del río Machángara.....	71
5.2.	Complejo Hidroeléctrico Machángara.....	72
5.2.1.	Represa Chanlud para regular caudales, características naturales y paisajísticas alrededor de las presas	73
5.2.2.	Represa El Labrado para regular caudales, características naturales y paisajísticas alrededor de las presas.....	74
5.3.	Hidrología y Meteorología de la subcuenca.....	75
5.3.1.	Caudales regulados de la cuenca del río Machángara.....	75
5.4.	Usos del agua de la cuenca del río Machángara	77

5.4.1.	Provisión de agua potable	77
5.4.2.	Generación hidroeléctrica	78
5.4.3.	Caudales ecológicos.	80
5.5.	Caudales mínimos en el Machángara, Yanuncay, Tomebamba y Tarqui, ríos de Cuenca	82
5.6.	Comité de regulación de la cuenca del río Machángara.	83
Capítulo 6: Proyecto hidroeléctrico múltiple Soldados-Yanuncay		85
6.1.	Subcuenca del Yanuncay y su deterioro.....	85
6.2.	Localización del proyecto hidroeléctrico soldados Yanuncay (PHSY)	85
6.3.	Componentes del Proyecto Hidroeléctrico Soldados Yanuncay	86
6.3.1.	Represa de Quingoyacu.....	87
6.3.1.1.	Meteorología del área de la presa	87
6.3.1.2.	Descripción del área de inundación.	88
6.3.1.3.	Comparación de la presa de Quingoyacu con la presa de Mazar.....	91
6.3.1.4.	Comparación de la presa Chanlud con la presa Quingoyacu.....	92
6.3.2.	Central Hidroeléctrica Soldados.....	92
6.3.3.	Central Hidroeléctrica Yanuncay	93
6.3.4.	Línea de subtransmisión Soldados – Yanuncay – Turi	93
6.4.	Objetivo del proyecto hidroeléctrico múltiple Soldados-Yanuncay.....	93
6.5.	Beneficios de la construcción del Proyecto Hidroeléctrico Múltiple Soldados-Yanuncay	94
6.5.1.	Disminuir los riesgos por inundaciones debido a las crecidas del río Yanuncay	94
6.5.2.	Garantizar el caudal de agua para la planta de potabilización de Sustag.....	97
6.5.3.	Contribuir a satisfacer el incremento de la demanda de energía eléctrica	98
6.5.4.	Una represa como alcancía para almacenar las monedas ahorradas	99
6.5.5.	Caudal ecológico	99
6.6.	Ordenar la cuenca, construir obras de regulación.....	100
6.7.	Costo del proyecto Solados-Yanuncay.....	101
6.8.	Cronograma de ejecución de obras.....	102
Capítulo 7: Cuencas no reguladas y cuenca regulada en Cuenca-Azuay.....		103
7.1.	Cuenca del río Paute	103
7.1.1	Características geográficas de la cuenca del Paute	103
7.1.2	Características hidrometeorológicas y climáticas del Paute	106

7.1.3	El río Paute una prioridad nacional	106
7.2.	Las subcuencas de la ciudad de Cuenca.	107
7.2.1.	Red hidrometeorológica de las subcuencas de Cuenca	107
7.2.2.	Análisis de las lluvias registradas en las cuatro cuencas.....	107
7.2.3.	Caudales medios y mínimos en los cuatro ríos	111
7.2.4.	Análisis de estiajes severos en los últimos años para los cuatro ríos.....	114
7.2.5.	Caudales máximos en los cuatro ríos	116
7.2.5.1.	Eventos críticos por la creciente de los ríos de Cuenca	116
7.2.5.2.	Caudales máximos anuales en los cuatro ríos.....	117
7.2.5.3.	Caudales proyectados para diferentes períodos de retorno en los cuatro ríos.....	118
7.3.	Oferta y demanda de agua de los ríos de cuenca	119
7.3.1.	Oferta disponible de agua para Cuenca.....	119
7.3.2.	Demanda de agua potable y otros usos actuales para Cuenca.....	119
7.3.3.	Demanda proyectada de agua para Cuenca	119
Capítulo 8:	Percepción ciudadana de zonas con embalses y zonas sin embalse.....	121
8.1.	Preguntas realizadas a las zonas con embalses.....	121
8.2.	Preguntas realizadas a la zona sin embalse.	122
8.3.	Preguntas realizadas a la empresa ElecAustro.	123
8.4.	Resultado de los presidentes de los GADs y comunidad que se encuentran en el área de influencia de los embalses del cantón Cuenca.....	124
8.5.	Resultado del GAD de San Joaquín y del concejal sobre PHSY.	124
8.5.1.	Resultado del representante de la comunidad de Soldados.....	124
8.6.	Resultado de la empresa ElecAustro dueña de las centrales hidroeléctricas y de la implementación de los embalses.	125
Capítulo 9:	Estrategias para una buena socialización.	127
9.1.	Resolución de conflictos.....	127
9.1.1.	Conflictos	127
9.2.	Estrategias.....	127
9.3.	Resolución de conflictos socio ambientales	127
9.3.1.	Formas tradicionales de resolver disputas.....	128
9.3.2.	Formas alternativas para la resolución de conflictos.	128
9.4.	Identificación y análisis de las partes interesadas	129
9.5.	Conflictos encontrados en el Proyecto Hidroeléctrico Soldados-Yanuncay	129

9.6. Estrategias que podría aplicar ELECAUSTRO S.A. en el Proyecto Hidroeléctrico Soldados-Yanuncay.....	130
Capítulo 10. Conclusiones y Recomendaciones	133
10.1. Conclusiones	133
10.2. Recomendaciones	136
Bibliografía.....	138

Índice de Tablas

Tabla 1.1. Caudales medios y mínimos de los ríos de Cuenca.....	2
Tabla 1.2. Caudales máximos registrados 15 y 16 de mayo del 2021 de los ríos de Cuenca. ...	3
Tabla 2.1. Clasificación de cuencas hidrográficas por su tamaño.....	10
Tabla 3.1. Áreas y porcentaje que ocupan las cuatro subcuencas de la ciudad de Cuenca.	23
Tabla 3.2. Caudales medios, máximos y mínimos registrados de la subcuenca del río Yanuncay.	25
Tabla 3.3. Población de la subcuenca del río Yanuncay.	28
Tabla 3.4. Red vial de la subcuenca del río Yanuncay.....	29
Tabla 3.5. Porcentaje del nivel de educación que posee la subcuenca del río Tomebamba. ...	34
Tabla 3.6. Red vial de la Subcuenca del río Tomebamba.	35
Tabla 3.7. Población de la Subcuenca del río Tarqui.	40
Tabla 3.8. Red vial de la Subcuenca del río Tarqui.....	41
Tabla 3.9. Nivel de educación de la Subcuenca del río Machángara.	47
Tabla 4.1. Clasificación de los embalses según su tamaño.	62
Tabla 4.2. Clasificación de los embalses más representativos del mundo respecto al volumen.....	62
Tabla 4.3. Clasificación de los embalses del Ecuador.....	63
Tabla 4.4. Lagunas del Parque Nacional Cajas.	64
Tabla 5.1. Reporte de caudales máximos instantáneos entre los días 16 y 19 de mayo-2021.	76
Tabla 5.2. Energía bruta generada en las centrales hidroeléctricas de Saucay, Saymirin III – IV-V desde el año 2000 hasta junio del 2021.	78
Tabla 5.3. Facturación de energía ElecAustro por central [US-\$] año 2020.	79
Tabla 5.4. Caudales ecológicos	81
Tabla 5.5. Caudales mínimos registrados el día 17 de noviembre del 2020.	82
Tabla 6.1. Caudales y volúmenes anuales representativos.....	89
Tabla 6.2. Precipitación mensual media en la presa Quingoyacu.	90

Tabla 6.3. Las cinco crecientes más grandes del río Yanuncay en los últimos 15 años.	94
Tabla 6.4. Descripción del caudal a utilizar en épocas de estiaje del río Yanuncay.	98
Tabla 6.5. Caudales ecológicos del río Yanuncay.	100
Tabla 6.6. Cronograma del PHSY	102
Tabla 7.1. Cuadro de áreas por subcuencas del Paute.	105
Tabla 7.2. Precipitaciones máximas 24 horas.	108
Tabla 7.3. Precipitaciones mensuales y total anual por cuenca hídrica.	109
Tabla 7.4. Precipitaciones máximas 24 horas y media anual para periodos de retorno.	109
Tabla 7.5. Caudales mínimos, máximos y medios en el río Yanuncay en m ³ /s.	111
Tabla 7.6. Caudales mínimos, máximos y medios ríos Yanuncay y Tarqui m ³ /s.	112
Tabla 7.7. Caudales mínimos, máximos y medios de río Machángara en m ³ /s.	114
Tabla 7.8. Caudales medios cuatro ríos estiaje, período 3 de octubre-30 de nov. 2020	115
Tabla 7.9. Caudales medios cuatro ríos estiaje, fecha 17 de noviembre del 2020	115
Tabla 7.10. Caudales máximos registrados de los 4 ríos.	117
Tabla 7.11. Caudales máximos encontrados por el método aplicado en los periodos de retorno de 2,5,10,20,25,33,50,200,100,1000,10000 años en las estaciones aplicadas.	118
Tabla 7.12. Caudales requeridos en la actualidad para uso doméstico ecológico y riego (año 2020).	119
Tabla 7.13. Proyección de población y oferta de caudales ríos: Tomebamba, Yanuncay, Machángara y Culebrillas para cuenca y su área de influencia.	119

Índice de Ilustraciones

Ilustración 2.1. Ciclo hidrológico.	6
Ilustración 2.2. Cuenca hidrográfica.	7
Ilustración 2.3. Objetivos de la gestión del agua para el desarrollo sustentable.	9
Ilustración 2.4. Cuenca alta, media y baja.	10
Ilustración 2.5. Interrelaciones e interacciones en una cuenca.	13
Ilustración 3.1. Subcuencas hidrográficas de la cuenca alta del río Paute.	22
Ilustración 3.2. Fuentes hídricas de la subcuenca del río Yanuncay.	24
Ilustración 3.3. Mapa de los ríos que pertenecen a la Subcuenca del río Tomebamba.	31
Ilustración 3.4. Mapa de los ríos que pertenecen a la Subcuenca del río Tarqui.	37
Ilustración 3.5. Mapa de los ríos que pertenecen a la Subcuenca del río Machángara.	43
Ilustración 4.1. Presa de material compactado.	56
Ilustración 4.2. Presa de Hormigón.	56

Ilustración 4.3.	Zonas de un embalse.....	57
Ilustración 4.4.	Estructura de un embalse.	58
Ilustración 4.5.	Niveles de volúmenes característicos de un embalse.	61
Ilustración 4.6.	Estratificación de embalses.....	65
Ilustración 5.1.	División de la subcuenca del río Machángara.	72
Ilustración 5.2.	Esquema Complejo Hidroeléctrico Machángara	72
Ilustración 5.3.	Secciones para control de caudal ecológico.....	80
Ilustración 6.1.	Mapa de ubicación del PHSY.....	86
Ilustración 6.2.	Esquema del Proyecto.....	86
Ilustración 6.3.	Esquema de los componentes del Proyecto Hidroeléctrico Soldados Yanuncay.....	87
Ilustración 6.4.	Presa Quingoyacu para almacenar 21 millones de m ³ de agua.....	88
Ilustración 6.5.	Área de inundación presa de Quingoyacu igual a 183 hectáreas.....	88
Ilustración 6.6.	Comparación del tamaño de las presas de Mazar y Quingoyacu.....	92
Ilustración 6.7.	Comparación de la altura de las presas de Chanlud y Quingoyacu.	92
Ilustración 6.8.	Línea de transmisión Soldados-Yanuncay-Turi.....	93
Ilustración 6.9.	Simulación de escenarios inundados sector Barabón: Sin presa y con presa.....	96
Ilustración 6.10.	Simulación de escenarios inundados sector Misicata: Sin presa y con presa.....	96
Ilustración 6.11.	Presa donde se guarda metros cúbicos de agua para el estiaje	99
Ilustración 6.12.	Costos del PHSY.....	101
Ilustración 7.1.	Mapa político de la cuenca del río Paute.	103
Ilustración 7.2.	Mapa de la cuenca del río Paute con las subcuencas.	104
Ilustración 7.3.	Distribución de las estaciones hidrometeorológicas.	107
Ilustración 7.4.	Isoyetas a partir de Precipitación media anual.....	110
Ilustración 7.5.	Isoyetas de precipitaciones para Periodo de retorno de 5 años.....	111

Índice de Gráficos

Gráfica 3.1.	Caudales máximos registrados desde 2000-2020.	25
Gráfica 3.2.	Precipitaciones máximas 24h desde el año 1997-2017.....	26
Gráfica 3.3.	Precipitaciones anuales desde el año 1997-2017.	26
Gráfica 3.4.	Caudales máximos registrados desde 1997-2020.	32
Gráfica 3.5.	Precipitaciones máximas 24h desde 1997-2016.	32
Gráfica 3.6.	Precipitaciones anuales desde el año 1997-2016.	33
Gráfica 3.7.	Caudales máximos registrados desde 1997-2020.	38
Gráfica 3.8.	Precipitaciones máximas 24h desde el año 1997-2016.....	38
Gráfica 3.9.	Precipitaciones anuales desde el año 1997-2016.	39
Gráfica 3.10.	Caudales máximos registrados desde 1997-2020.	44
Gráfica 3.11.	Precipitaciones máximas 24h desde 2002-2016.	44
Gráfica 3.12.	Precipitaciones anuales desde el año 2002-2020.	45
Gráfica 5.1.	Caudales registrados de los ríos de Cuenca entre los días 16 y 19 de mayo-2021.....	77
Gráfica 5.2.	Porcentaje de la cantidad de agua que aportan los ríos para el consumo humano.....	78
Gráfica 5.3.	Caudal Ecológico El Labrado desde enero hasta julio del 2021.....	81
Gráfica 5.4.	Caudal Ecológico Chanlud desde enero hasta julio del 2021.	82
Gráfica 5.5.	Caudales mínimos registrados el día 5 al 17 de noviembre del 2020.	83
Grafica 6.1.	Caudales máximos del río Yanuncay y caudales visualizados hasta el año 2030.....	94
Grafica 6.2.	Creciente de los ríos Tomebamba y Yanuncay el 3 de mayo del 2020.	95
Grafica 6.3.	Caudales del río Machángara y Yanuncay generados en época de lluvia. .	95
Grafica 6.4.	Probabilidad que el caudal en la obra de toma de la Planta de Sustag sea menor que su caudal de diseño (690 l/s)	97
Gráfica 7.1.	Caudales de estiaje de los ríos de Cuenca, período 3 de octubre-30 de noviembre 2020.....	115

Índice de Fotos

Foto 3.1.	Rendimiento hídrico en la cuenca alta y cuenca baja del río Yanuncay.....	24
Foto 3.2.	Flora de la cuenca alta del río Yanuncay.	27
Foto 3.3.	Zona baja del río Tomebamba que cruza la ciudad de Cuenca.....	30
Foto 3.4.	Actividades que se realizan alrededor del río Tomebamba.	36
Foto 3.5.	Río Tarqui.	37
Foto 3.6.	Vegetación alrededor del río Tarqui en la zona urbana de la ciudad de Cuenca.....	39
Foto 3.7.	Cuenca alta del río Chulco.	42
Foto 3.8.	Flora de la cuenca alta del río Machángara.	46
Foto 5.1.	Embale y represa de Chanlud.	73
Foto 5.2.	Vegetación que se encuentra a los alrededores de la represa Chanlud.	74
Foto 5.3.	Embale y represa del Labrado.....	74
Foto 5.4.	Vegetación que se encuentra a los alrededores de la represa el Labrado. ..	75
Foto 6.1.	Área de inundación presa de Quingoyacu.	89
Foto 6.2.	Flora que encuentra en el área de inundación.	90
Foto 6.3.	Área de inundación gran presencia de pajonal.	91

Capítulo 1: Introducción

El agua es uno de los recursos naturales más importantes no solo es preciosa para la vida humana, sino que es vital para toda la vida del planeta y desarrollo del resto de los seres vivos, contribuyendo al bienestar general en toda actividad cotidiana (Regulación Agua, 2020). La cantidad de agua en la Tierra es de aproximadamente 1.385 mil millones de km³. De esta, el agua que podemos utilizar es agua sin sal, que representa solo el 0,0075% del agua total. Si los 7.8 billones de personas (año 2021) lo beben, usan y tiran agua, se agotará algún día (Hossain, 2015). La contaminación del agua empeora día a día debido al continuo crecimiento de la población y las actividades industriales, por lo que la cantidad de agua utilizable está disminuyendo gradualmente. Por lo cual, es fundamental conservar el agua limpia, con el objetivo de poder utilizarla para diferentes propósitos como: consumo doméstico, producción agrícola y ganadera, caudales ecológicos para la vida acuática, generación hidroeléctrica, fines estéticos y recreativos (Hossain, 2015).

Los recursos hídricos que posee la tierra son fundamentales para mantener un abastecimiento apropiado de alimentos y un entorno productivo para todos los organismos vivos. Sin embargo, el crecimiento rápido de la población ha ido poniendo en riesgo el racionamiento de agua dulce, limitando así el consumo de este (Lynch, 2016). La disminución de agua afecta de manera drástica la biodiversidad tanto en los ecosistemas acuáticos como en los terrestres. Si para los humanos el agua es sumamente importante, también lo es para el resto de seres vivos, como por ejemplo las plantas necesitan agua para la fotosíntesis (Kılıç, 2020). Sin agua, la fotosíntesis no se da y por lo tanto los herbívoros y carnívoros no pueden sobrevivir. Sin agua, la Tierra no sería más que un enorme desierto (García Astillero, 2020).

Definitivamente el agua es importante para todos en la tierra, ayuda de gran manera a normalizar la temperatura, a la variación de clima y al suministro de oxígeno. Es importante destacar que aproximadamente el 0,3% de los recursos hídricos en el mundo es utilizable (Sanrem CRSP, 2003). La escasez de agua ya existe en muchas regiones, con más de unos mil millones de personas sin agua potable adecuada. Esta situación es una de los más importantes indicadores de por qué debemos ser muy sensibles y conscientes con nuestros recursos hídricos. De hecho, estos recursos hídricos están disminuyendo, los glaciares han disminuido un 33% en los últimos 50 años, son contaminados y todavía se usa inconscientemente. El agua no sólo la vamos a consumir para hidratarnos, sino que es utilizada en cultivos y ganadería, con lo cual la contaminación puede afectar a todos los seres vivos del planeta (Kılıç, 2020).

En el Ecuador los problemas con los recursos hídricos, es debido a que es un factor determinante para el desarrollo del país. El estado de los recursos hidrológicos se caracteriza por la presencia de ríos, lagunas y otros cuerpos de agua contaminados con sustancias tóxicas, cargas orgánicas, hidrocarburos y microorganismos patógenos. En la sierra ecuatoriana la disminución de los caudales es visible, en la costa se sobreexplotan los acuíferos y la disminución de la superficie de los páramos, los cuales son zonas reguladoras de caudales, en al menos un 25% del territorio (Soler Álvarez, 2019).

La mala gestión de las cuencas hídricas perjudica a las poblaciones rurales debido a que los sistemas de agua potable están mal planificados y finalmente, las tarifas que se cobran por el

agua potable o agua de riego no representan el costo real del servicio y son totalmente insuficientes para mantener un sistema de gestión sostenible (Soler Álvarez, 2019).

En resumen, la gestión de los recursos hídricos en Ecuador se caracteriza por la débil coordinación entre instituciones y actores involucrados en la gestión del agua y por un nivel de participación escaso de la ciudadanía en tomar de decisiones. La disminución de la calidad y la menor confiabilidad del suministro de agua para usos domésticos y agrícolas es el resultado de la deforestación y la erosión de los tramos superiores de la cuenca hidrográfica es un problema que preocupa seriamente a la población local, la mayoría de la cual depende de manantiales de montaña sin tratar para obtener agua potable (Soler Álvarez, 2019).

1.1. Antecedentes

Cuenca es una ciudad ecuatoriana, cuyo nombre es Santa Ana de los Ríos de Cuenca, está ubicada en la cabecera del cantón Cuenca, capital de la provincia de Azuay, así como su urbe más grande y poblada. Se encuentran los ríos Tomebamba, Tarqui y Machángara, en el centro-sur de la región interandina de Ecuador, en la hoya del río Paute, a una altitud de 2.550 metros sobre el nivel del mar y con una temperatura promedio de 15°C (Naranjo Martínez, 2018).

En la tabla 1.1, la subcuenca hídrica del río Tomebamba tiene un área de aporte de 233 Km² en Sayausí, mientras que la del Yanuncay es 238 Km² en Sustag y la del Machángara es 235 Km² en Saymirín, sitios de captación de agua potable para la ciudad de Cuenca. En épocas de estiaje el caudal del Tomebamba se reduce a 830 l/s, del Yanuncay a 890 l/s, y del río Culebrillas es a 76 l/s. Sin embargo, hay que recalcar que el río Machángara, se mantiene con un caudal de 2.000 l/s para la planta de Tixán que abastece aproximadamente al 52.7% de la población de Cuenca de agua potable en la actualidad y que se incrementará este aporte al 60% los próximos años (Pauta, y otros, 2019).

Tabla 1.1. Caudales medios y mínimos de los ríos de Cuenca.

<i>Caudales medios y mínimos de ríos que se pueden aprovechar para consumo doméstico en Cuenca</i>					
<i>Ríos del cantón Cuenca que se pueden aprovechar para consumo doméstico en la ciudad de Cuenca y su periferie.</i>	Área de la cuenca en sitio de captación (km ²)	Caudal medio anual		Caudal mínimo del río con una garantía del 98%	
		(l/s)	(%)	(l/s)	(%)
<i>1. Tomebamba, captación en Sayausí</i>	233	5.760	34.0	830	21.9
<i>2. Yanuncay, captación en Sustag.</i>	238	4.820	28.4	890	23.4
<i>3. Machángara, captación en Saymirin.</i>	235	5.000	29.5	2.000	52.7
<i>4. Culebrillas, captación en Paquitranca.</i>	53	1.380	8.1	76	2.0
TOTAL	759	16.960	100.0	3.796	100

Fuente: ETAPA EP (2021).

¿Por qué razón el río Machángara posee caudales contantes, superiores a los del río Yanuncay y Tomebamba, si las tres subcuencas tienen una superficie similar a lo km²? Esto se debe a que

la subcuenca del río Machángara está bien cuidada y protegida siendo la única subcuenca que está regulada en su zona alta, con la presencia de las represas de El Labrado con una capacidad de 6 millones de m³ y Chanlud con un volumen de 17 millones de m³ (Guachiculca, 2019). De tal manera que estos grandes reservorios, al igual que una gran alcancía son llenados durante los meses de lluvia y se vierten en períodos secos, obteniendo caudales constantes de aproximadamente 3.000 l/s. Esta cuenca hídrica posee el “Complejo Hidroeléctrico Machángara” que genera energía hidroeléctrica desde las Centrales de Saymirín y Saucay con 39,5 MW, el cual es manejado por la empresa ElecAustro, sumándose la entrega de agua a la planta potabilizadora más grande de la región en Tixán y riego aprovechado por 3.000 usuarios (Dominguez, 2013).

En la tabla 1.2 se observa con claridad la crecida extrema nunca antes vista del río Tarqui con un caudal superior a 150 m³/s por parte de ETAPA, una creciente grande de 183,19 m³/s del Yanuncay, una creciente moderada del Tomebamba de 105,57 m³/s y finalmente un registro de 24,45 m³/s en el Machángara que no causó ningún daño en sus riberas.

Tabla 1.2. Caudales máximos registrados 15 y 16 de mayo del 2021 de los ríos de Cuenca.

REPORTE DE CAUDALES MÁXIMOS INSTANTANEOS ENTRE LOS DÍAS SÁBADO 15 Y DOMINGO 16 DE MAYO-2021					
RÍO	CAUDALES MÁXIMOS	ÁREAS		ESTACIÓN MED.CAUDAL	ESTADO DE ALERTA
	m³/s	Km²	%		
1. Tarqui	>150.00	476.29	29.75	AJ YANUNCAY	Alerta (50m ³ en adelante)
2. Yanuncay	183.19	418.88	26.16	AJ TARQUI	Alerta (50m ³ en adelante)
3. Tomebamba	105.57	380.41	23.76	DJ.RIO	Alerta (50m ³ en adelante)
4. Machángara	24.45	325.45	20.33	PIC	Prealerta (20-49 m ³ /s)
TOTAL		1601.03	100.00		

Fuente: ETAPA EP (2021).

1.2. Justificación

La cuenca del Machángara reconocida por su gestión adecuada además de este gran atributo al contar con las presas de Chanlud y El Labrado, ha sido la constitución del Comité de Conservación de la cuenca del Río Machángara, con la participación de instituciones como: ElecAustro S.A, Universidad de Cuenca, ETAPA EP, Ministerio del Ambiente y Agua, Prefectura del Azuay, Ministerio de Agricultura y Ganadería, Junta de Riego y Drenaje del Machángara y los GAD Parroquiales de Checa y Chiquintad. Esta junta está orientada a la gestión técnica-social y el desarrollo de la microcuenca; trabajo reconocido en foros internacionales, por las labores de protección, conservación y recuperación de la biodiversidad y del recurso hídrico, aprovechando las capacidades y fortalezas de las instituciones y organizaciones sociales desde una perspectiva sostenible (Díaz Granda C. , 2015).

El uso de los embalses para racionar el agua y generar energía es conocida desde hace milenios. Numerosos registros arqueológicos alrededor del mundo, nos muestran como ya desde los mismísimos albores de la humanidad, el hombre conocía sus más intrínsecas propiedades (Moreno Díaz & Renner, 2007). Es decir, posee varios beneficios tanto sociales como ambientales como: la generación de "energía limpia y renovable", el control de las crecidas evitando las inundaciones, mejoramiento en el abastecimiento de agua para la agricultura, piscicultura, el turismo, por lo cual es imperioso iniciar la planificación y construcción de obras similares en los dos ríos de Cuenca que tienen agua de buena calidad como son el Tomebamba y el Yanuncay y de esta forma garantizar la provisión del líquido vital al cantón Cuenca (Calderón Cancelada, 2016).

A nivel mundial, el crecimiento de la urbanización ha contribuido al deterioro ecológico de los cuerpos de agua. Se han realizado esfuerzos para mejorar las condiciones ecológicas mediante medidas aisladas o integradas, pero en muchos casos estas medidas no han sido evaluadas su beneficio (Jerves Cobo, y otros, 2020). La subcuenca del Yanuncay se ve amenazada en la actualidad por una mala gestión de sus recursos naturales, ecosistema de alta fragilidad, transformaciones originadas por actividades antrópicas, generando cambios en el uso de suelo. Al ser una cuenca hidrográfica de tan solo 416 km² necesita un plan de manejo integral, con una propuesta de conservación integral de los recursos con la participación de los pobladores, enfatizando en las potencialidades y considerando su fragilidad y vulnerabilidad al cambio climático. La experiencia exitosa en la cuenca del Machángara será el camino a seguir.

El proyecto hidroeléctrico Soldados-Yanuncay garantizará agua para la ciudad de Cuenca hasta el año 2050. Pues, el caudal medio del río es de 4.820 l/s, pero en estiaje se reducen ostensiblemente a 890 l/s, poniéndose en riesgo en los próximos años el recurso necesario para cubrir demanda de agua potable en la planta de potabilización de Sustag, riego y preservación de especies acuáticas o caudal ecológico que se estima en 440 l/s. El déficit actual es de 492 l/s en verano, siendo esencial contar con un embalse de regulación en la cuenca alta y la presa de Quingoyacu. La regulación a construirse en Quingoyacu con un volumen útil de 21 millones de m³ de capacidad y la planificación operativa prevista, permitirá mantener los caudales ecológicos a lo largo del río y suplir la demanda de caudales para riego en la actividad agrícola y ganadera a lo largo del río en las cuencas alta, media y baja y durante todo el año. Además, laminará las crecidas del Yanuncay, que actualmente afectan a varias Localidades como Barabón, Sustag, y los sectores bajos de la ciudad de Cuenca como es el caso de la avenida 1 de mayo. Lo preocupante es que estos eventos se repiten con más frecuencia cada año y con caudales extremos, con un registro máximo de 250,69 m³/s en el 2017. En el mes de mayo del 2020, el Yanuncay creció y se desbordó con un caudal de 186,7 m³/s. La presencia de la represa de Quingoyacu posibilitará reducir los caudales máximos en al menos un 30% (CESEL INGENIEROS, 2012).

1.3. Hipótesis

La regulación de las subcuencas hidrográficas que rodean Cuenca es lo más importante para la ciudad, debido a que disminuirá los preocupantes problemas generadas por las súbitas crecientes del río, seguidas de períodos de estiaje por la poca capacidad de retención en el incremento de la escorrentía originado por los siguientes factores: i) Expansión de la frontera agropecuaria, causando un alto impacto en la estructura del suelo y su capacidad de

almacenamiento de agua. ii) Fincas ganaderas para la producción de lácteos y derivados que realizan la abonadora del suelo principalmente con gallinaza siendo la principal fuente de contaminación orgánica. iii) El crecimiento del área urbana de Cuenca

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Evaluar los beneficios obtenidos al tener una gestión y ordenamiento adecuado de la cuenca hídrica del Machángara con la conformación del “Comité de Gestión la cuenca del Machángara”, además la misma regulada con las represas de Chanlud con 17 millones de m³ y Labrado 6 millones de m³ cuya experiencia se podría replicar en el río Yanuncay.

1.4.2. Objetivos específicos

- Revisar las características físicas, biológicas, hidrológicas y ambientales de los cuatro ríos de Cuenca.
- Recorrer las cuencas hídricas Machángara y Yanuncay, con un análisis de las represas existentes de Chanlud y Labrado y de la proyectada en el Yanuncay en el sector de Quingoyacu.
- Preparar la cartografía descriptiva de las cuatro cuencas en GIS, señalando los principales lugares en los cuales se capta el agua para los diferentes usos y registro fotográfico.
- Analizar la importancia del ordenamiento de las cuencas hídricas de los ríos de Cuenca.
- Mostrar los beneficios y problemas en la construcción de represas de tamaño mediano y grande.
- Evaluar los beneficios obtenidos al tener una gestión y ordenamiento adecuado de la cuenca hídrica del Machángara, así como los posibles beneficios que se lograrán en las otras subcuencas que rodean a la ciudad de Cuenca.
- Mostrar la percepción ciudadana respecto a las represas existentes y construidas, para lo cual se levantará entrevistas a funcionarios de la empresa ELECAUSTRO y representantes de los GADs de Checa, Chiquintad y San Joaquín.

Capítulo 2: Marco teórico

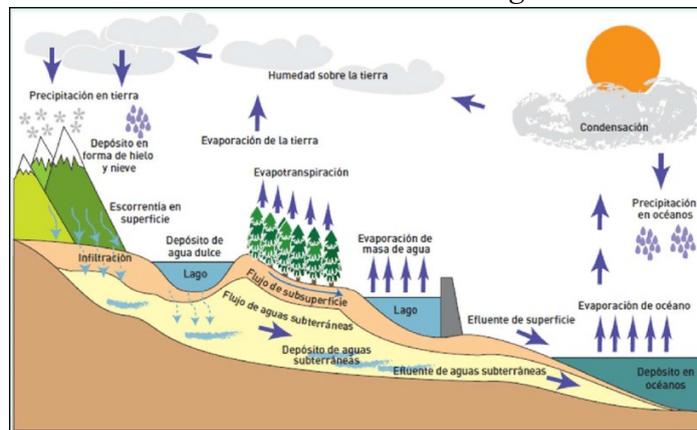
2.1. Las cuencas hidrográficas

El agua es un elemento esencial para todos los seres vivos, incluidos los humanos. Sin embargo, la cantidad de agua disponible para las personas es muy limitada, e incluso la disponibilidad del recurso se va aún más restringida por el incremento de la contaminación debido al desarrollo imprudente (Arreguin, 2019).

El agua es la sustancia más importante que compone nuestro cuerpo. Lleva los nutrientes a donde se necesitan y mantiene la temperatura corporal. Hidrata la piel y ayuda a la digestión de los alimentos. Necesita beber una cierta cantidad de agua todos los días para mantener un cuerpo sano. Los seres vivos solo pueden sobrevivir si tienen agua en sus cuerpos. Incluso las criaturas que viven en lugares como los desiertos donde el agua escasea deben tener una cantidad mínima de agua en sus cuerpos (Fernández Cirelli, 2012). El 60-85% de nuestro cuerpo está compuesto por agua. Si perdemos solo el 1 ~ 2% del agua de nuestro cuerpo, sentimos mucha sed. Esto se debe a que, si no tiene suficiente agua, su metabolismo no estará activo. Los ríos y lagos, las aguas, marítimas, subterráneas y costeras forman un recurso valioso que es necesario proteger (Fesnad, 2016).

El agua es indispensable para nuestra vida y para la sostenibilidad de los ecosistemas, no pueda ser sustituida. Si bien es un recurso renovable, no es infinito y se puede acabar si se hace un aprovechamiento excesivo de ella, por eso su alto valor para todo el mundo. El agua en la Tierra circula constantemente en diferentes formas. El movimiento continuo del agua sobre la tierra, el mar y el cielo se denomina "ciclo del agua". El ciclo del agua evita que la tierra se caliente demasiado y crea agua dulce de forma natural, lo que beneficia la vida humana (Ilustración 2.1) (Van der Zaag, 2008).

Ilustración 2.1. Ciclo hidrológico.



Fuente: Andino (2019).

La calidad de vida de una población depende, en gran medida, del ambiente que la rodea y su calidad. En particular, el agua es un elemento fundamental para el bienestar tanto para las personas como para los ecosistemas. Con la población mundial proyectada para aumentar a 9 mil millones para el año 2050, se estima un aumento del 55 % en la demanda de agua, 60 % en la demanda de alimentos y un 80 % en la demanda de energía; esto generará una enorme presión sobre los sistemas hídricos naturales (UICN, 2018). El agua hace muchas cosas a medida que

circula por la Tierra. La razón por la que la tierra es saludable es porque el agua circula y distribuye la energía de manera uniforme para equilibrarla. Se puede decir que la circulación del agua no es lo mismo que la circulación de la vida.

2.2. Definiciones de cuencas hidrográficas

Una cuenca es un área donde la lluvia se acumula en un sistema de agua. También se lo llama así a un área de captación porque se refiere al área alrededor del río donde el agua se acumula y fluye. Todas las fuentes de agua fluyen hacia el punto más bajo: arroyos, ríos y lagos. Fluye a lo largo de la superficie y atraviesa tierras de cultivo, bosques, áreas insulares y carreteras, o se filtra en el suelo y se mueve como agua subterránea. Algunas cuencas hidrográficas pueden ser áreas montañosas o pantanosas donde solo pueden vivir ciertos árboles, plantas y vida silvestre (Ilustración 2.2) (CEPAL, 2013).

Ilustración 2.2. Cuenca hidrográfica.



Fuente: Santana (2019).

La cuenca hidrográfica debe ser saludable, debido a que sostiene la función del ecosistema y proporciona el bienestar y los medios de vida humanos (es decir, los servicios ecosistémicos). En muchos casos, las necesidades humanas y las funciones de los ecosistemas funcionan bien juntas. Desafortunadamente, las cuencas hidrográficas degradadas no pueden ofrecer recursos hídricos de calidad para humanos y animales. Debido a que las cuencas hidrográficas brindan numerosos beneficios para nuestras comunidades y el medio ambiente, es importante considerar cómo proteger la integridad de nuestras cuencas hidrográficas locales (Aldridge & Baker, 2017).

2.3. Gobernanza del agua y la gestión de las cuencas hidrográficas

2.3.1 Gestión o Gobernanza del agua

La gestión del agua es un pilar muy importante para el control y movimiento de los recursos hídricos para minimizar el daño a la vida y la propiedad y maximizar el uso beneficioso eficiente. Una buena gestión del agua en presas y diques reduce el riesgo de daños por inundaciones. Los sistemas de gestión del agua de riego hacen un uso más eficiente de los limitados suministros de agua para la agricultura (Martínez Valdés & Villalejo García, 2018).

La gobernanza del agua tiene cuatro dimensiones fundamentales que son:

- **Social:** Según (Millennium Ecosystem, (2005) argumentó que el bienestar humano depende fundamentalmente de los servicios de los ecosistemas, subcategorizados como servicios de aprovisionamiento, culturales, reguladores y de apoyo.
- **Económica:** Las cuencas hidrográficas se han relacionado con los beneficios económicos para las comunidades. Si bien es difícil poner un valor exacto a cada función y servicio del ecosistema, algunos estiman el costo de las pérdidas del ecosistema entre \$ 4,3 billones y \$ 20,2 billones por año. Está claro que el costo de restaurar la función del ecosistema perdida o de utilizar un método o tecnología alternativos para proporcionar una función específica del ecosistema puede ser alto.
- **Política:** La Política promueve un nuevo enfoque integrado para gestionar los recursos hídricos de manera sostenible y más beneficiosa para las personas. Este enfoque se basa en el reconocimiento continuo del valor social del agua, al mismo tiempo que se presta la debida atención a su valor económico.
- **Ambiental:** Los procesos biológicos, físicos y químicos que ocurren dentro de las cuencas hidrográficas brindan funciones y servicios importantes que apoyan a las plantas y los animales, incluidos los humanos. El ciclo de nutrientes, el almacenamiento de carbono, el control de la erosión, la formación de suelos, el aumento de la biodiversidad, los corredores de vida silvestre, el almacenamiento de agua, la filtración de agua, los controles de alimentos y la recreación son solo una parte de los servicios que brindan los ecosistemas dentro de las cuencas hidrográficas. Por ejemplo, los bosques ribereños (hábitat forestal adyacente a los arroyos) actúan como amortiguadores de la contaminación de fuentes difusas y como corredores para la alimentación de los animales. Cuando las cuencas hidrográficas se degradan y sobreviene la contaminación, los beneficios y servicios ecológicos pueden reducirse o perderse por completo. Las principales causas del deterioro de ríos, arroyos, lagos, estanques y embalses son patógenas, alteraciones del hábitat y toxinas y contaminantes en el agua. Estos contaminantes incluyen actividades agrícolas, modificaciones hidrológicas, deposición atmosférica y otras fuentes desconocidas o no especificadas. Si los cuerpos de agua ya no pueden soportar sus usos naturales o designados, el medio ambiente y / o los seres humanos se verán afectados negativamente.

2.3.2 Gestión de las cuencas hidrográficas

El manejo de cuencas hidrográficas está dirigido a los recursos terrestres e hídricos, y se aplica a un área de tierra que drena a un lugar definido a lo largo de un arroyo o río. El manejo de cuencas hidrográficas tiene como objetivo cuidar los recursos naturales de una manera que apoye las necesidades humanas de agua, alimentos, energía y habitación, al tiempo que respalda otros atributos acordados relacionados con la recreación, la estética y/o la función ecológica. Cada cuenca es única en fisiografía, ecología, clima, calidad del agua, uso de la tierra y cultura humana. Por lo tanto, cualquier enfoque generalizado de gestión de cuencas hidrográficas debe adaptarse a cada entorno cuando se ponga en práctica (Tomer, 2014). El manejo de cuencas hidrográficas requiere un compromiso a largo plazo que se adapte a los cambios en la población, el clima, la cultura y las demandas de uso de recursos. Algunos objetivos tradicionales del manejo de cuencas hidrográficas son mitigar el riesgo de inundaciones para estructuras o

comunidades enteras, restaurar la función de los humedales, inhibir la escorrentía de nutrientes de las tierras agrícolas o proteger las áreas de fuentes de agua potable de los contaminantes ambientales. En los países en desarrollo, el objetivo principal ha sido el control de la erosión y sedimentación (Hernando Londoño, 2001).

La previsión, el compromiso y las inversiones a largo plazo tienen la capacidad de generar beneficios sustanciales al manejo de las cuencas hidrográficas. Aquellos que trabajan en el campo de la planificación y gestión de cuencas hidrográficas saben que comunicar sus conocimientos e involucrar a las partes interesadas en todos los niveles es realmente significativo. Esta comprensión básica de las características de la cuenca es un primer paso esencial para modelar la cuenca, sobre la base del cual se puede evaluar el impacto de las intervenciones de la cuenca en los recursos hídricos en las aldeas locales y en las aldeas río abajo (Ilustración 2.3) (Tomer, 2014).

Ilustración 2.3. Objetivos de la gestión del agua para el desarrollo sustentable.



Fuente: AGUA.org.mx (2017).

2.4. Zonas funcionales de las cuencas hídricas

Las zonas comienzan con la recaptura natural o la recaptura regulada, la zona de almacenamiento y la zona de descarga.

i. La zona de captación, de cabecera o cuenca alta:

En una zona de fuente de agua, el exceso de precipitación proporciona escorrentía o recarga de agua subterránea para los procesos aguas abajo. Es el área de la cuenca donde se origina la mayor parte de la escorrentía o el suministro de agua. La recolección de agua y el riego complementario pueden tener lugar en esta zona. Las estrategias de gestión en la zona de la fuente de agua pueden afectar el uso del agua en toda la cuenca (Molden, Sakthivadivel, & Keller, 2001).

ii. La zona de almacenamiento, de transición o cuenca media:

Es la zona de transición entre la cuenca alta y la cuenca baja en donde el área de la cuenca se reutiliza, las escorrentías superficiales, derrames, el agua de drenaje, filtración o

percolación profunda deben o pueden estar regulado. Los flujos de retorno son capturados por una red de drenaje que está físicamente separada de la red de distribución y el agua no regresa naturalmente al río.

iii. La zona de descarga, de emisión o cuenca baja:

Una Zona de descarga es cualquier tramo o área de la cuenca donde el agua es utilizada para el uso agrícola y donde se puede visualizar con más claridad los impactos que se produce en toda la cuenca (Ilustración 2.4) (Díaz Cruz, 2015).



Fuente: (Eoearth, 2011).

2.5. Clasificación de las cuencas hidrográficas

2.5.1 Tipos de cuencas por su tamaño

La tabla 2.1 se expone una clasificación de las cuencas por categorías de tamaño de la siguiente forma:

Tabla 2.1. Clasificación de cuencas hidrográficas por su tamaño.

CLASIFICACIÓN	TAMAÑO
Cuenca muy grande	▪ mayor a 5.000 km ²
Cuenca grande	▪ 2500 km ² a 5.000 km ²
Cuenca intermedia grande	▪ 500 km ² a 2.500 km ²
Cuenca intermedia pequeña	▪ 250 km ² a 500 km ²
Cuenca pequeña	▪ 25 km ² a 250 km ²
Cuenca muy pequeña	▪ menor a 25 km ²

Fuente: Vásconez et al. (2019).

2.5.2 Clasificación por su forma

Una de las características físicas importantes de las cuencas hidrográficas es la morfometría. La forma de la cuenca hidrográfica es una de las características morfométricas de la superficie terrestre. La forma de la cuenca tiene una fuerte relación con el pico característico de descarga y la erosión de la tierra. Por lo tanto, se debe clasificar la forma de la cuenca debido a la fuerte relación entre la forma de la cuenca y la descarga máxima y la erosión de la tierra. La forma de las cuencas hidrográficas se puede clasificar según el análisis morfométrico desde la perspectiva de los aspectos lineales y de relieve (Suharyanto, Suhartanto, & Lesmana, 2020).

Se pueden utilizar diferentes índices geomorfológicos para el análisis de una cuenca si se toma en consideración su forma. El índice más utilizado es el índice de Gravelius, que se define como la relación entre el perímetro de la cuenca y el de un círculo que tiene una superficie igual a la de una cuenca y puede ser un indicador de la tendencia a inundaciones. Otro que se utiliza es el de la proporción de Horton para describir las características geomorfológicas de la cuenca según las propiedades de la corriente (Jardí, 1985).

La forma de la cuenca influye en la magnitud y el momento del flujo máximo en la salida de la cuenca. Como por ejemplo consideramos dos cuencas de igual área donde una es larga y estrecha y la otra es más redonda. Tomamos en cuenta la escorrentía viajando desde el punto más lejano de cada cuenca hasta sus respectivas salidas. La escorrentía en la cuenca más redonda llegará más rápidamente a la salida de la cuenca (Vásconez, Mancheno, Álvarez, & Prehn, 2019).

2.5.3 Por su ecosistema

Según el medio o el ecosistema en la que se encuentran, según (Ordoñez Gálvez, (2011) se establecen una condición natural, clasificando las cuencas de la siguiente forma:

- Cuencas áridas
- Cuencas tropicales
- Cuencas frías
- Cuencas húmedas

2.5.4 Por su objetivo

Por su vocación, capacidad natural de sus recursos, objetivos y características, las cuencas, según (Ordoñez Gálvez, (2011) pueden denominarse:

- Hidro-energéticas
- Para agua poblacional,
- Agua para riego,
- Agua para navegación

2.5.5 Características Morfométricas y Fisiográficas de la Cuenca

Las características morfométricas de una cuenca fluvial proporcionan una descripción cuantitativa del sistema de drenaje, que es un aspecto importante de las cuencas. La cuenca de drenaje es una extensión tridimensional de tierra donde el agua superficial proviene de la precipitación; lluvia, nieve, aguanieve, granizo y heladas, convergen en un solo punto o se unen a otro cuerpo de agua, como un río, lago, embalse, estuario, humedal, mar u océano antes de salir de la cuenca a través del proceso de escorrentía superficial, a través de un flujo y flujo de agua subterránea (Cardenas, 2011).

Las características físicas, meteorológicas y humanas controlan la cuenca de drenaje. Diversos fenómenos hidrológicos significativos pueden correlacionarse con las características fisiográficas de las cuencas hidrográficas como: la pendiente del área de drenaje, la forma, la densidad del drenaje, el tamaño y la longitud de los afluentes. Considerando que la elevación y pendiente, tipos de rocas, tipos de suelo, densidad de drenaje, tipo e intensidad de lluvia, condiciones antecedentes, tasas de evapotranspiración, urbanización, deforestación, forestación, extracción de agua son algunos otros factores que controlan la cuenca (Adhikari, 2020).

2.6. Diagnóstico de una cuenca hidrográfica

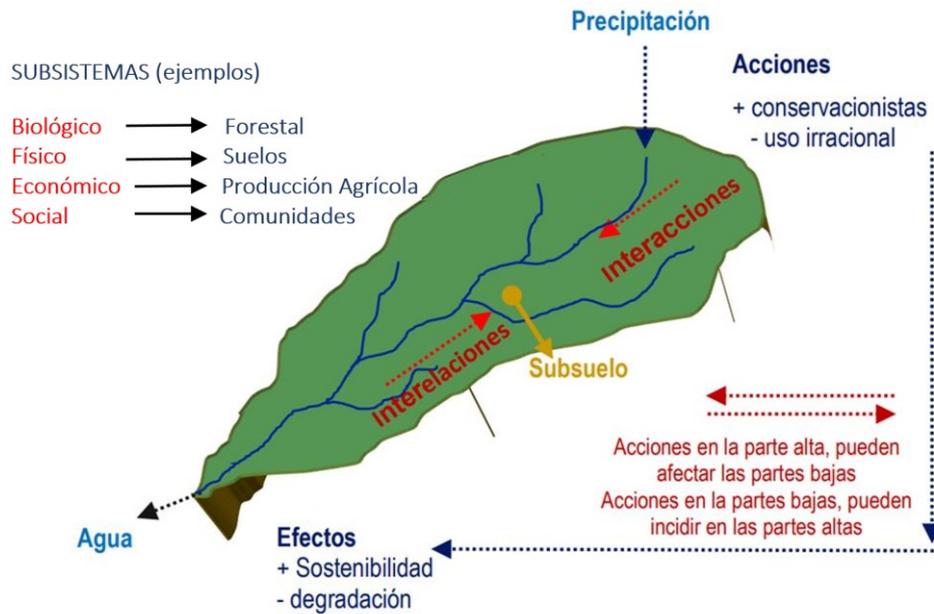
La calidad del agua a menudo muestra evidentes cambios espaciales y temporales, características de un sistema fluvial en la cuenca. Sin embargo, el método convencional de diagnóstico de la calidad del agua, que se basa en el estándar de sección transversal, pasa por alto fácilmente las características espacio-temporales de la carga contaminante en la cuenca. Bajo el concepto de gestión y control espacial del ambiente ecológico, se propuso el método de diagnóstico de los problemas ambientales del agua que se había denominado método de Curva de Duración de Carga de Contaminación Equivalente. Combinando el proceso hidrológico de la corriente principal con la concentración de la calidad del agua de la sección, se podría utilizar para identificar eficazmente los contaminantes principales sobre estándar y sus fuentes en diferentes unidades de control de la cuenca del río (Corcuera Zababurú, 2016).

El diagnóstico de una cuenca permite conocer o evaluar la situación de ocupación, capacidad, condición o consolidación de la cuenca con todos los componentes y actores de la cuenca. También puede ver qué produce una cuenca hidrográfica como unidad y qué servicios proporciona. Se enfoca en cuatro componentes: la parte biofísica, la parte socioeconómica, la parte técnica y productiva, y la parte institucional y legal. Como resultado, deben lograrse las siguientes caracterizaciones:

- Descripción biofísica y socioeconómica.
- Conozca el potencial de su cuenca: lo que le ofrece.
- Conozca el uso actual del lavabo.
- Conoce problemas, necesidades, conflictos y áreas críticas.
- Identificar sitios y áreas vulnerables con riesgos o amenazas.
- Análisis de la probabilidad de desastres naturales provocados por una mala gestión de cuencas
- Consciente de las limitaciones y restricciones.
- Determinar las causas y consecuencias de problemas y conflictos.
- Identificar tendencias en las diversas actividades y usos de los recursos naturales.
- Identificar sugerencias de soluciones o alternativas a los problemas y necesidades, teniendo en cuenta los aportes de varios interesados en la cuenca.
- Conocer la vulnerabilidad de su cuenca es muy importante para planificar su territorio de acuerdo a condiciones peligrosas, peligros o amenazas.

Las cuencas hidrográficas están interrelacionadas. La degradación de recursos como el agua, por ejemplo, está relacionada con la falta de educación ambiental, la falta de cumplimiento de las leyes y la tecnología inadecuada (Ilustración 2.5) (Umaña Gómez, 2002).

Ilustración 2.5. Interrelaciones e interacciones en una cuenca.



Fuente: Palacios Ruiz (2016).

2.7. Las cuencas hídricas en el Ecuador

El Plan Nacional de Desarrollo 2007-2010 de Ecuador y el Plan Nacional del Buen Vivir 2009-2013 priorizaron la promoción de la gestión integral del agua por cuenca, impulsando una nueva cultura del agua desde una perspectiva de derechos humanos. Los problemas del sector de los recursos hídricos del Ecuador se ven como un factor determinante para el desarrollo sostenible del país. La situación de los recursos hídricos se caracteriza por: la existencia de ríos y otros cuerpos de agua contaminados con cargas orgánicas, sustancias tóxicas, hidrocarburos y microorganismos patógenos; reducción de la disponibilidad de caudales superficiales en la sierra y sobreexplotación de los acuíferos de la costa; una severa reducción de los glaciares (33 por ciento en los últimos 50 años); y una reducción de al menos un 25 por ciento en el área histórica de los páramos, que naturalmente regulan el flujo de agua (Soler Álvarez, 2019).

En cuanto a la gestión de los recursos hídricos, Ecuador no ha tenido políticas nacionales de agua y el enfoque en las cuencas hidrográficas no se ha considerado. La información hidrológica que podría utilizarse para planificar una estrategia de gestión integrada racional es de mala calidad y está desactualizada. Además, las tarifas que se cobran por el agua no representan el costo real del servicio y son totalmente insuficientes para mantener un sistema de gestión sostenible.

En resumen, la gestión de los recursos hídricos en Ecuador se ha caracterizado por una débil coordinación entre las instituciones y los actores involucrados en la gestión del agua y un nivel inadecuado de participación ciudadana. La legislación relacionada con el agua y los recursos naturales carece de un enfoque de gestión integral. Esto se ve agravado por la limitada

capacidad institucional y la gestión del sector en los servicios de agua y saneamiento, riego e hidroeléctrica, industrial y otros usos (Gallardo, 2018).

El cambio en la gestión de los recursos hídricos se creó en el año 2020 el Ministerio de Ambiente y Agua. Este organismo tiene la tarea de diseñar e implementar el Plan Nacional de Aguas, que establece estrategias y acciones que abarcan desde el nivel nacional hasta el nivel de las cuencas hidrográficas individuales. En este nuevo contexto, este programa contribuyó a los avances hacia el logro de las metas del Gobierno ecuatoriano, al apoyar la implementación de medidas que garanticen el acceso al agua potable y la gestión integral de los servicios de agua y saneamiento (Galárraga Sánchez, 2001).

Los proyectos que se llevan a cabo en Ecuador relacionados con el manejo de cuencas hidrográficas son aislados y no existen estudios que sugieran soluciones poblacionales y regionales. Esto se debe a que no se implementó debido a problemas de desconocimiento de la población. A esto se suma la problemática política y las razones por las cuales los actores responsables del manejo y manejo de las cuencas hidrográficas no otorgan la necesaria importancia a las subcuencas como sistemas. La escasez de agua es una preocupación en la provincia de Loja, en la costa de Manabí, en la parte occidental de la península de Santa Elena en Guayas, y en algunas partes de las provincias de Cotopaxi, Tungurahua y Chimborazo, ubicadas aguas arriba del río Pastaza. Las precipitaciones son generalmente escasas y hay poca capacidad reguladora anual para el agua disponible (Soler Álvarez, 2019).

Uno de los mayores impactos ambientales que genera el agua es el resultado del exceso de agua proveniente de lluvias estacionales e inusuales, como las resultantes de los eventos de El Niño, que son importantes para los hogares y los cultivos, especialmente en áreas propensas a inundaciones. Los sectores más afectados son los sistemas viales, la agricultura y la ganadería. Los impactos más importantes son principalmente daños al sector agrícola debido a impactos destructivos en carreteras costeras e infraestructura pública, destrucción de propiedad privada, muerte de personas y animales, brotes de epidemias y fuertes disminuciones y aumentos en la productividad. Además, la caída del precio de bienes y servicios, caída de alimentos, productos farmacéuticos (Gallardo, 2018).

Las condiciones físicas de las cuencas hidrográficas, que en muchos casos extremos acompañan a las condiciones hidrometeorológicas, afectan directamente la formación de sedimentos, lo que se destaca por las acciones humanas directas, especialmente por la expansión de las fronteras. Montañas, especialmente tierras baldías y áreas boscosas. Esto conduce a una pérdida gradual pero significativa de suelo y una reducción de la capacidad de producción, aumento de la escorrentía superficial, reducción de la capacidad de retención de agua del suelo y cambios en el ciclo del agua a nivel de Cuenca (Galárraga Sánchez, 2001).

Finalmente, los problemas relacionados con el agua se deben a la baja capacidad institucional de gestión y gestión del agua, así como a los propios recursos, que están, sobre todo, relacionados con la inestabilidad del más alto nivel de gestión. El número de organizaciones relacionadas con los recursos hídricos, las dificultades financieras que enfrentan los actores responsables de la gestión y gestión de los recursos hídricos debido a la crisis económica nacional, la gestión institucional débil y desconectada de los problemas de los recursos hídricos, las instituciones responsables de la gestión y gestión del agua, e inadecuados sistemas de recolección de datos hidrometeorológicos, la mínima presencia de escasez de personal

altamente capacitado, especialmente en la operación y mantenimiento de los sistemas de agua en el sector de riego (Vásconvez Echeverría & Durán Durán, 2010).

2.8. Leyes del uso del agua en el Ecuador

La Constitución de la República del Ecuador 2008, Registro Oficial 449 de 20-oct-2008. Última modificación: 13-jul-2011, en su Artículo 318 establece la siguiente prelación para el uso del agua en el Ecuador:

- i) Consumo humano,
- ii) Riego que garantice la soberanía alimentaria,
- iii) Caudal ecológico y
- iv) Actividades productivas,

Art. 318.- El agua es patrimonio nacional estratégico de uso público, dominio inalienable e imprescriptible del Estado, y constituye un elemento vital para la naturaleza y para la existencia de los seres humanos. Se prohíbe toda forma de privatización del agua.

La gestión del agua será exclusivamente pública o comunitaria. El servicio público de saneamiento, el abastecimiento de agua potable y el riego serán prestados únicamente por personas jurídicas estatales o comunitarias.

El Estado fortalecerá la gestión y funcionamiento de las iniciativas comunitarias en torno a la gestión del agua y la prestación de los servicios públicos, mediante el incentivo de alianzas entre lo público y comunitario para la prestación de servicios.

El Estado, a través de la autoridad única del agua, será el responsable directo de la planificación y gestión de los recursos hídricos que se destinarán a consumo humano, riego que garantice la soberanía alimentaria, caudal ecológico y actividades productivas, en este orden de prelación. Se requerirá autorización del Estado para el aprovechamiento del agua con fines productivos por parte de los sectores público, privado y de la economía popular y solidaria, de acuerdo con la ley.

- USOS DE AGUA

El Art. 88 presenta la definición de uso del agua, el Art. 89 la autorización de uso que debe enmarcarse con la Ley, su Reglamento y la planificación hídrica. Finalmente, en el Art. 90 establece las Condiciones para el otorgamiento de autorizaciones de uso del agua.

Art. 88.- Uso. Se entiende por uso del agua su utilización en actividades básicas indispensables para la vida, como el consumo humano, el riego, la acuicultura y el abrevadero de animales para garantizar la soberanía alimentaria en los términos establecidos en la Ley.

Art. 89.- Autorización de uso. El uso del agua de acuerdo con la definición del artículo anterior contará con la respectiva autorización otorgada de conformidad con esta Ley, su Reglamento y la planificación hídrica.

La autorización para el uso del agua para consumo humano y riego para soberanía alimentaria, abrevadero de animales y acuicultura, confiere al usuario de esta, de manera exclusiva, la

capacidad para la captación, tratamiento, conducción y utilización del caudal al que se refiera la autorización.

Art. 90.- Condiciones para el otorgamiento de autorizaciones de uso del agua. Previo al otorgamiento de autorizaciones para el uso del agua, la Autoridad Única del Agua verificará el cumplimiento de las siguientes condiciones:

- a) Que se respete el orden de prelación establecido en la Constitución y esta Ley;
- b) Que se haya certificado, la disponibilidad del agua en calidad y cantidad suficientes. Respecto de la calidad del agua la Autoridad Única del Agua implementará los procesos de certificación de manera progresiva;
- c) Que los estudios y proyectos de infraestructura hidráulica necesarios para su utilización hayan sido aprobados previamente por la Autoridad Única del Agua;
- d) Que el beneficiario se responsabilice por la prevención y mitigación de los daños ambientales que ocasione, y se obligue a contribuir al buen manejo del agua autorizada; y, e) Que la utilización del agua sea inmediata o en un plazo determinado para el destino al que fue autorizado de acuerdo con el informe técnico respectivo.

- **SERVIDUMBRE PARA EL USO DEL AGUA**

Art. 98.- Tipos de servidumbre. En materia de agua existen dos tipos de servidumbres:

- a) Naturales. - Las que sin intervención humana hacen que un predio se beneficie del agua que atraviese o se encuentre en otro predio; y,
- b) Forzosas. - Todo predio está sujeto a servidumbre de acueducto y sus conexas, tales como captación, construcción de obras de represamiento, extracción, conducción, desagüe, drenaje, camino de paso y vigilancia, que incluye sus respectivos estudios técnicos, encauzamiento, defensa de los márgenes y riberas a favor de otro predio que carezca del agua necesaria, ordenado por las autoridades respectivas.

La Autoridad Única del Agua autorizará las ocupaciones de terrenos para la ejecución de las obras a que se refiere este artículo, así como las modificaciones de cualquier servidumbre de acuerdo con lo establecido en esta Ley.

Además, autorizará las ocupaciones de terrenos para la ejecución de las obras e incluirá la determinación de franjas especiales de protección de acueductos públicos o comunitarios a que se refiere este artículo.

El titular de la servidumbre de acueducto y sus conexas deberá indemnizar al titular del predio en función de los daños que se causen por el establecimiento de la servidumbre. El titular del predio sirviente no adquiere derecho sobre las obras realizadas dentro de su predio. Podrá utilizarlas únicamente para uso doméstico y abrevadero de animales siempre y cuando no las destruya, cause contaminación o afecte a derechos de terceros. El incumplimiento de esta norma será objeto de las sanciones reguladas por la Ley.

En caso de fraccionamiento del predio sirviente, se mantendrán las servidumbres necesarias para el uso del agua.

Las servidumbres establecidas a favor de las instituciones del Estado además de forzosas, serán preferentes.

2.9. El cambio climático: inundaciones y sequías más severas

El cambio climático es un concepto más elevado que el calentamiento global. El calentamiento es un tipo de cambio climático. El cambio climático incluye cosas como cambios en los patrones de lluvia, así como aumentos en la temperatura. El cambio climático es causado por factores externos como: el aumento de aerosoles en la estratosfera por las erupciones volcánicas, cambios en la actividad solar y cambios en las posiciones astronómicas relativas del Sol y la Tierra. Incluso sin factores externos, el sistema climático puede cambiar de forma natural. Esto se debe a que los cinco componentes principales del sistema climático (temperatura, humedad, precipitación, velocidad del viento y duración del día) y los elementos de la atmósfera, la hidrosfera, la criósfera, la geósfera y la biosfera interactúan entre sí y cambian constantemente (IPCC, 2020). También lo que ha afectado a que se produzca el cambio climático son las actividades humanas, especialmente la combustión de combustibles fósiles y la combustión de restos de organismos vivos en fábricas y hogares, producen gases de efecto invernadero y aerosoles que afectan los componentes atmosféricos, aumentando así los gases de efecto invernadero y reflejando la energía de la radiación solar por aerosoles en la atmósfera y los efectos ópticos de las nubes. Esto, ha provocado un cambio de propiedades (enfriamiento de la tierra por efecto de dispersión) (Díaz Cordero, 2012).

El cambio climático provoca un impacto en el ciclo del agua de la Tierra, donde el agua de los océanos se distribuye continuamente a través de la atmósfera, la tierra, los ríos y los lagos, y luego regresa a los océanos. El cambio climático está aumentando el nivel de vapor de agua en la atmósfera y dificultando la predicción de la disponibilidad de agua. Esto puede provocar tormentas más fuertes en algunas áreas y condiciones de sequía más severas en otras áreas, especialmente durante los meses de verano. Los glaciares se están derritiendo y la nieve y el hielo se están reduciendo. Los patrones de precipitación están cambiando a medida que las áreas existentes se vuelven más húmedas y las áreas secas se vuelven más secas. Al mismo tiempo, los fenómenos meteorológicos extremos como olas de calor, lluvias intensas y sequías son cada vez más frecuentes y más fuertes (Schwartz, 2018).

La temperatura del agua de lagos y ríos ha aumentado por el cambio climático y ha acortado la duración de las estaciones. Estos cambios, junto con el aumento del caudal de los ríos en invierno y la disminución en verano, tienen un impacto significativo en la calidad del agua y los ecosistemas de agua dulce. Por lo cual, algunos cambios empeoran otras presiones como los hábitats acuáticos, incluida la contaminación. Por ejemplo, si el caudal de un río disminuye debido a la reducción de las precipitaciones, hay menos agua para diluir la contaminación, lo que resulta en concentraciones más altas de contaminantes (Agencia Europea, 2018). Se espera que los impactos del cambio climático en el agua se intensifiquen en los próximos años. Las fuertes lluvias y su ausencia afectan a millones de personas, desafían la economía, perturban las cadenas de producción alimentaria, crean incertidumbre y generan migración.

2.9.1 Cambio climático en el Ecuador

Ecuador enfrenta una variedad de riesgos de cambio climático asociados con cambios de temperatura y precipitación, así como posibles alteraciones de las corrientes oceánicas. Dada su ubicación geográfica y topografía accidentada, Ecuador es un país altamente vulnerable a los impactos del cambio climático. Los eventos periódicos de El Niño, particularmente los de 1982-83 y 1997-98, han demostrado los efectos catastróficos de la variabilidad climática en el país. Este alto grado de exposición, combinado con la vulnerabilidad de sectores económicos clave como la agricultura, la salud, la energía, los recursos hídricos, los recursos costeros, la pesca, la infraestructura y el turismo, refuerza la noción de que Ecuador es un país particularmente vulnerable al cambio climático (Toulkeridis, y otros, 2020).

Caracterizado por una diversidad extrema de zonas climáticas, Ecuador cuenta con una extraordinaria variedad de sistemas geográficos que van desde glaciares de gran altitud hasta bosques lluviosos tropicales en los afluentes superiores del Amazonas y bosques tropicales secos en la costa del Pacífico, así como un puesto avanzado insular en el Pacífico con las Islas Galápagos, Patrimonio de la Humanidad. Algunos de estos sistemas muestran una mayor sensibilidad al cambio climático, o al menos se considera que tienen más probabilidades de sufrir cambios rápidos como resultado del cambio climático, incluida la variabilidad. Como se destaca en el Informe resumido de la Evaluación de Ecosistemas del Milenio, dichos ecosistemas brindan grandes servicios ambientales que son fundamentales para los medios de vida rurales y el bienestar urbano. A medida que estos sistemas se deterioran debido a diversos factores directos e indirectos, incluido el cambio climático, la calidad de los bienes y servicios ambientales también disminuye (UNDP, 2010).

Existe un proyecto PNUD-GEF que trabaja para incorporar la adaptación al cambio climático en las prácticas de gestión del agua en Ecuador a través de la integración de los riesgos del cambio climático en los planes clave de desarrollo nacional y local, la implementación de medidas de adaptación, la gestión de la información y el intercambio de conocimientos. A nivel nacional, el proyecto mejorará la gobernanza del agua al incorporar evaluaciones de vulnerabilidad y riesgos climáticos en los procesos de gestión y toma de decisiones del agua. A nivel local, las intervenciones se llevarán a cabo en provincias específicas (Los Ríos, Manabí, Loja y Azuay) que han sido identificadas con base en evaluaciones de vulnerabilidad al cambio climático y consultas con las partes interesadas (UNDP, 2010).

En la ciudad de Cuenca debido a que está bañada de cuatro hermosos ríos, cuyas microcuencas de aporte varían entre 325 a 476 km² (Universidad del Azuay, 2020), lo cual les hace susceptibles al cambio climático, por ello hemos observado a los ríos desbordarse y causar daños en las riberas y en ciertas ocasiones con agua escasa y riesgos de racionamientos, siendo necesario emprender con prontitud el ordenamiento de las cuencas hídricas y la construcción de represas para regular los caudales en los ríos Tomebamba y el Yanuncay.

2.10. Presas para regulación de caudales

Los proyectos de represas son útiles para satisfacer la demanda de agua en tiempos deseados y para regular los regímenes de arroyos, por lo cual, han asumido una función importante en el desarrollo de la civilización. Se han construido presas para prevenir inundaciones, controlar los regímenes de los arroyos, abastecimiento de agua potable y doméstica, generación de energía y con fines de riego del agua almacenada. Por lo cual, las represas disminuyen considerablemente

el efecto de contaminación en la parte, aguas abajo al disminuir la carga contaminante proveniente de la fuente, gracias a sus grandes depósitos de almacenamiento (Burgueño Muñoz, 2016).

Además, vuelven a disminuir la carga de contaminación al contener agua continuamente en sus lechos durante los períodos secos. Las represas disminuyen el riesgo de inundaciones en la corriente abajo, por su oportunidad de almacenamiento en su embalse. Sin duda, existen beneficios reales y potenciales que se obtienen de estos proyectos. El desarrollo industrial ha ganado velocidad; los canales de riego y la producción de alimentos han mejorado como resultado del aumento de la generación eléctrica. Por lo cual, las represas hidroeléctricas, debido a que facilitan la producción de electricidad ajustable, al almacenar grandes cantidades de agua en sus embalses. Desde el punto de vista energético y climático, las represas son claramente muy positivo, y tal vez incluso represente la más ventajosa de todas las energías renovables, siempre que la geografía y la hidrología lo permitan (Skinner, Niasse, & Haas, 2009).

Los cuencanos sabemos que los caudales que escurren por un río varían continuamente en el tiempo y que hay épocas con varios meses en que los escurrimientos son reducidos y otras en que fluye el agua en abundancia y los ríos se desbordan. La única forma de regular, controlar, almacenar y aprovechar esos escurrimientos es con las represas. Con ellos, es posible asegurar el suministro de agua para la creciente población y el suministro de líquidos para riego.

Entonces, dado el crecimiento explosivo de la población y la aspiración de mejores condiciones de vida en muchas comunidades, regiones y estados, si desea agua embotellada, las represas son la solución. En los países donde existía la posibilidad de construir represas antes de que comenzara la negación, al menos en algunas áreas hay suficientes reservorios para almacenar el recurso hídrico durante los meses de agua en exceso y secos (Domínguez Serrano, 2019).

Como ocurre con todas las tareas creadas por el hombre, las represas tienen una variedad de efectos positivos y negativos que, hasta cierto punto, pueden convertirse en ventajas y desventajas.

I. Ventajas tradicionales

a) abastecimiento de agua a la población para consumo humano, ganadería, industrias y servicios; b) abastecimiento de agua para las industrias agrícola; c) generación de electricidad; d) Control de inundaciones.

II. Beneficios sociales y ambientales

Además, los diversos propósitos y beneficios son innegables, se destacan los siguientes:

a) Prefieren desarrollar la acuicultura de peces. La siembra temprana de algunas especies en algunos embalses a veces conduce a un desarrollo acuícola significativo que no existía en el área del río.

b) Prefieren el desarrollo de centros turísticos. El turismo encuentra un potencial muy amplio en las represas debido a las posibilidades que ofrecen los lagos artificiales. Entre ellos, se puede mencionar la posibilidad de practicar deportes como lugares de descanso, recreo y camping, esquí acuático, vela, canotaje, natación y buceo. Todo esto también requiere mano de obra para

todos los servicios relacionados, principalmente hoteles y restaurantes, alquiler de embarcaciones y venta de mercadería diversa. La mayoría de estos nuevos trabajos están ocupados por personas que viven cerca del embalse o que pueden haber sido afectadas por su propiedad.

c) Vías de comunicación: Facilitar el movimiento de personas y mercancías entre las poblaciones y aldeas formadas en la orilla, brindando una variedad de posibilidades de comunicación que son muy difíciles de lograr en otras circunstancias si los embalses de la presa son muy grandes de un nuevo lago artificial (ANESAPA, 2006).

III. Desventajas

Al discutir las deficiencias o los impactos negativos de las represas, muchos deben tener en cuenta las condiciones y los conocimientos técnicos que existían cuando se diseñaron y construyeron. Los hechos de la historia o sus protagonistas a menudo se juzgan en términos de nuestras acciones, principios y valores actuales.

Sus impactos incluyen la pérdida de bienestar social, el acceso limitado a los recursos naturales debido a las inundaciones para crear embalses, la degradación de las tierras de cultivo y pastos en áreas inundadas y hábitats ribereños que dependen de flujos de agua muy específicos. El potencial pesquero de la ría debido a la falta de suministro de agua dulce al mar y al capital cultural debido a la migración forzada de muchas personas, grupos étnicos o grupos sociales minoritarios. Además, se modifica el régimen hidrológico del río y se elimina o al menos se modifica significativamente el pulso estacional anual. Esto significa modificar el sistema morfológico del acueducto (relacionado con el transporte y la deposición de sedimentos en la sección del acueducto y cualquier ecosistema dependiente o relacionado) (Martínez Yrizar, Búrquez, & Calmus, 2021).

En la última década, los reservorios artificiales también han sido identificados como fuentes importantes de gases de efecto invernadero (GEI) como son el CO₂ y CH₄ para la atmósfera el principal proceso responsable de las altas emisiones de CO₂ y CH₄ de los embalses jóvenes es la descomposición microbiana de la materia orgánica terrestre (MO) inundada. Esta MO inundada está compuesto por suelos, literas, troncos y hojas que generalmente caen al agua pocos meses después de la inundación. Las emisiones gaseosas son máximas los primeros 2 a 3 años después de la incautación y luego disminuyen lentamente con el tiempo. Esto muestra que una fracción más lábil de la MO terrestre inundada primero se pierde rápidamente, seguida de una disminución progresiva en la cantidad y biodisponibilidad de la MO que queda en el fondo de los embalses. Además, en los antiguos embalses, otras fuentes de MO (entrada de ríos y producción primaria acuática) se vuelven importantes para la descomposición en los embalses. Las emisiones gaseosas de los embalses hidroeléctricos también presentan variaciones temporales muy importantes con condiciones meteorológicas (viento y lluvia) que modifican las tasas de intercambio de gases y con vertidos fluviales que modifican el tiempo de residencia de las aguas (Abril, y otros, 2005).

La evaluación de la contribución humana a los gases de efecto invernadero de los embalses no es sencilla, independientemente de los fines para los que se construyeron originalmente o para los que se utilizan actualmente (control de inundaciones, hidroelectricidad, riego, almacenamiento de agua y navegación). Estos ecosistemas de origen antropogénico constituyen

reactores ambientales con nuevos depósitos de carbono, vías de transporte adicionales (mientras que otras se eliminan). El CO₂ es, con mucho, la especie de gases de efecto invernadero el más importante en los ecosistemas acuáticos. En sí mismo, encontrar que los embalses de agua dulce emiten grandes cantidades de gases de efecto invernadero, en particular CO₂, no es sorprendente dado que, al igual que los lagos naturales, los reservorios también reciben material orgánico rico en carbono de los paisajes terrestres que drenan (Prairie, y otros, 2018).

IV. Medidas ambientales por la construcción de presas

Siempre se debe realizar un análisis completo de los recursos naturales y humanos de la región y los cambios que puedan ocurrir en la construcción de presas y embalses antes de la construcción.

Instalar cinturones protectores alrededor de las presas que satisfagan las necesidades inmediatas en términos de protección ecológica y ambiental, y brinden servicios relacionados para el mantenimiento de las presas y la posible prevención de desastres.

Involucrar a la población en el desarrollo de proyectos para definir fortalezas y debilidades y enfrentar posibles riesgos para incentivar a la población a tomar precauciones y protección social y ambiental.

La tecnología de descarga también se usa ampliamente en la actualidad y, entre otras medidas nuevas que cambian las condiciones del flujo de agua lo menos posible, los desagües de fondo abierto para drenar los sedimentos (Rodríguez Villanueva, 2018).

Capítulo 3: Descripción de las cuatro subcuencas

3.1. Cuenca del río Paute

La cuenca del río Paute se encuentra en los Andes del sur de Ecuador. Administrativamente, la cuenca forma parte de las Provincias Azuay, Cañar y Morona Santiago. Es el hogar de 1.382,200 personas, incluidos los principales asentamientos urbanos de Cuenca (INEC, 2021). Con una población de 580 mil del año 2021 (INEC, 2021) de la proyección a nivel cantonal, la ciudad de Cuenca es la tercera más grande de Ecuador. La cuenca del río Paute se ubica en la depresión interandina que separa el occidente y la Cordillera Real en el sur de Ecuador. Con un área de 5066 km² y un rango de elevación de 1840 a 4680 m sobre el nivel del mar, la cuenca tiene un complejo hidroeléctrico Paute en su extremo corriente abajo (Martínez Gavilanes , 2012). La parte superior de la cuenca se encuentra a sólo 62 km de la línea de la costa del Pacífico en su punto occidental. La parte aguas abajo de la cuenca termina en una región dispersa entre los Andes y el Amazonas (Molina Garate, 2010).

La cuenca del río Paute abastece a las zonas aguas abajo con agua potable y agua para la producción agrícola, ganadera y piscícola. Además, sus características topográficas e hidrológicas permitieron la implementación de proyectos hidroeléctricos como el Complejo Hidroeléctrico Integral Paute, uno de los proyectos hidroeléctricos más importantes del país (Pozo Estívariz, 2018); se compone dos presas y tres centrales hidroeléctricas y produce un promedio de 2.353 megavatios (MW) anuales. La producción del complejo Mazar-Paute-Sopladora alcanzó los 8.314,96 GWh, lo que representó el 34,36% de la producción total (CENACE O. , 2020).

3.1.1. División en subcuencas

La cuenca del río Paute posee una gran cantidad de afluentes, los cuales conforman específicas subcuencas. En la cuenca hay tres zonas señaladas como: cuenca alta, cuenca media y cuenca baja y adentro de estas zonas existen las subcuencas, las cuales llevan el nombre del río principal (Borrero Vega, 2002). En la ilustración 3.1 se muestran las cuatro subcuencas que son de la cuenca alta que pertenece cuenca hidrográfica del río Paute y las cuales que pasan por la ciudad de Cuenca.

Ilustración 3.1. Subcuencas hidrográficas de la cuenca alta del río Paute.



Fuente: IERSE (2020).

En la tabla 3.1 se ve las áreas y el porcentaje que ocupan las cuatro subcuencas de la ciudad de Cuenca.

Tabla 3.1. Áreas y porcentaje que ocupan las cuatro subcuencas de la ciudad de Cuenca.

<i>Subcuenca</i>	<i>Área (km²)</i>	<i>% con respecto al área total de las 4 subcuencas</i>
Machángara	325.45	20.33
Tomebamba	380.41	23.76
Yanuncay	418.88	26.16
Tarqui	476.29	29.75
TOTAL	1601.03	100

Fuente: IERSE (2020).

3.2. Subcuenca del río Yanuncay

3.2.1. Componentes físicos

3.2.1.1. Localización

La subcuenca del río Yanuncay nace en la cordillera occidental de los Andes, esta pertenece a la cuenca del río Paute, sus aguas fluyen de oeste-este, su cuenca se halla en la zona interandina del país. La subcuenca del río Yanuncay, hasta su unión con el río Tarqui, en la ciudad de Cuenca, tiene una superficie aproximada 418.89 km². El agua del río Yanuncay nace gracias a los humedales del Parque Nacional Cajas en la cota 4300 m.s.n.m. (Albarracín Guachichulca, 2019).

3.2.1.2. Clima

Con respecto al clima que posee la cuenca del río Yanuncay va desde templado hasta frío, con valores de temperaturas máximas y mínimas que oscilan entre 1,5°C como mínimo y 18,8 °C como máximo. Los meses de marzo, abril y mayo son las épocas de lluvia, septiembre a febrero es un clima templado y los meses de noviembre y diciembre poseen un clima seco (Cocha Pallo, 2009).

3.2.1.3. Geomorfología

En la subcuenca del río Yanuncay se pueden observar 2 unidades geomorfológicas diferenciadas como: valles - laderas cordilleranas, y áreas de glaciales. Respecto a los valles comprende el fondo y flancos del valle del río Yanuncay, los cuales están ubicados por debajo de los 3 500 m.s.n.m. y las áreas de glaciales está representada por la cabecera del valle del río Yanuncay y las extensas planicies onduladas, comprendido aproximadamente sobre los 3 500 m.s.n.m. (ACOTECNIC Cía Ltda, 2020).

3.2.1.4. Hidrología

La subcuenca del río Yanuncay, corresponde a la cuenca del río Paute, donde sus aguas fluyen en sentido de oeste-este. Este se forma por la unión de varios ríos como son el Quingoyacu, Galgal, Bermejós, Pucán y Soldados, el río Yanuncay (Ilustración 3.2) después de la ciudad de Cuenca confluye en el río Tomebamba, el cual es afluente por la margen derecha del río Paute (Vallejo Llerena E. C., 2014).

Ilustración 3.2. Fuentes hídricas de la subcuenca del río Yanuncay.



Fuente: IERSE (2008).

El rendimiento de la cuenca alta del Yanuncay es muy diferente a la parte baja de la cuenca, Foto 3.1, debido a su capacidad de regulación en las zonas de páramos permite tener una producción hídrica mayor en épocas secas, aunque la diferencia es pequeña y se puede considerar semejante, pero puede resultar importante en caudales mínimos.

Foto 3.1. Rendimiento hídrico en la cuenca alta y cuenca baja del río Yanuncay.



Fuente: Autor

Según ETAPA EP (2021) en la subcuenca del río Yanuncay tiene un caudal promedio de $6.83 \text{ m}^3/\text{s}$ entre los años 1997-2020 pero se ha observado algunos eventos que superan los $30 \text{ m}^3/\text{s}$, el cual es el caudal normal que debería mantener el río y también han existido eventos que han superado los $50 \text{ m}^3/\text{s}$ en donde ya son caudales que ponen en riesgo a la ciudadanía, como se

puede ver la Grafica 3.1 en donde se han producido 10 eventos en la cual se han registrado caudales mayores a 100 m³/s en los últimos 58 años. Siendo el año 2017 con el mayor caudal producido de 268.8 m³/s. Esta serie contempla desde el año 1964 hasta el 2020 según datos obtenidos de ETAPA EP (2021).

Gráfica 3.1. Caudales máximos registrados desde 2000-2020.



Fuente: ETAPA EP (2021).

En la tabla 3.2 el caudal medio registrado de la estación de Pucán (río Yanuncay) que va desde el año 1997-2020 es de 4.820 l/s. El caudal mínimo con el 98% de probabilidad de que baje es de 890 l/s.

Tabla 3.2. Caudales medios, máximos y mínimos registrados de la subcuenca del río Yanuncay.

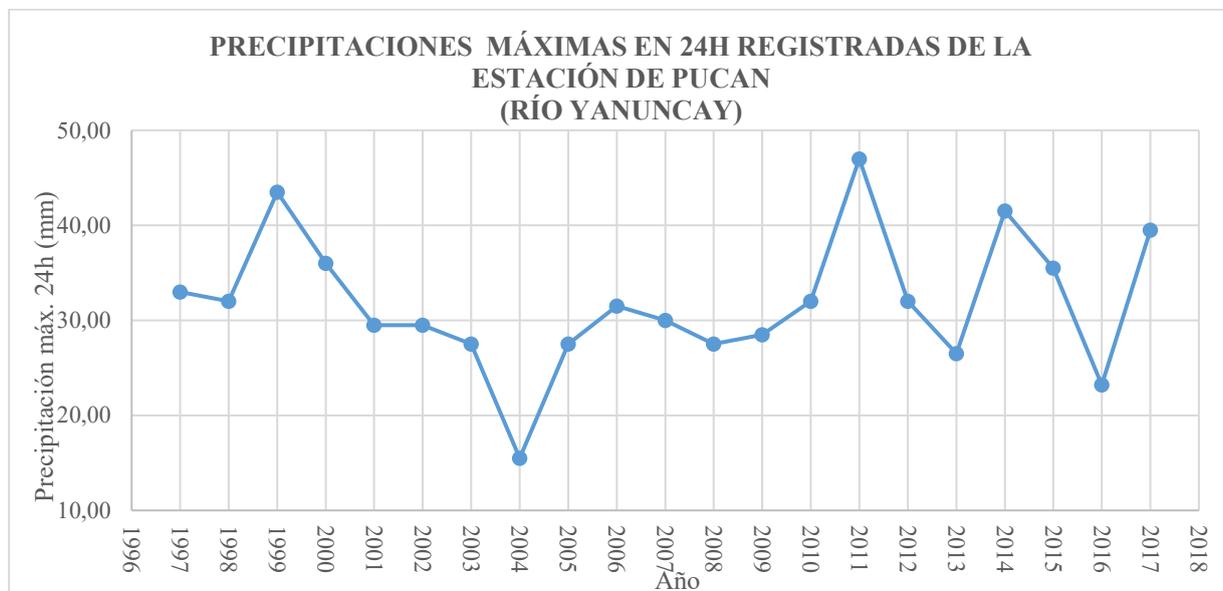
Caudal medio en (l/s)	4,820.0
Caudal Máximo registrado m³/s	268.8
Caudal mínimo Q 98% (l/s)	890

Fuente: ETAPA EP (2021).

Con respecto a las precipitaciones se presentan todo el año, pero más los meses entre enero y mayo y entre septiembre y diciembre. En la gráfica 3.2 se puede ver con respecto a las precipitaciones registradas de la estación de Pucan (río Yanuncay) desde el año 1997-2017 tiene

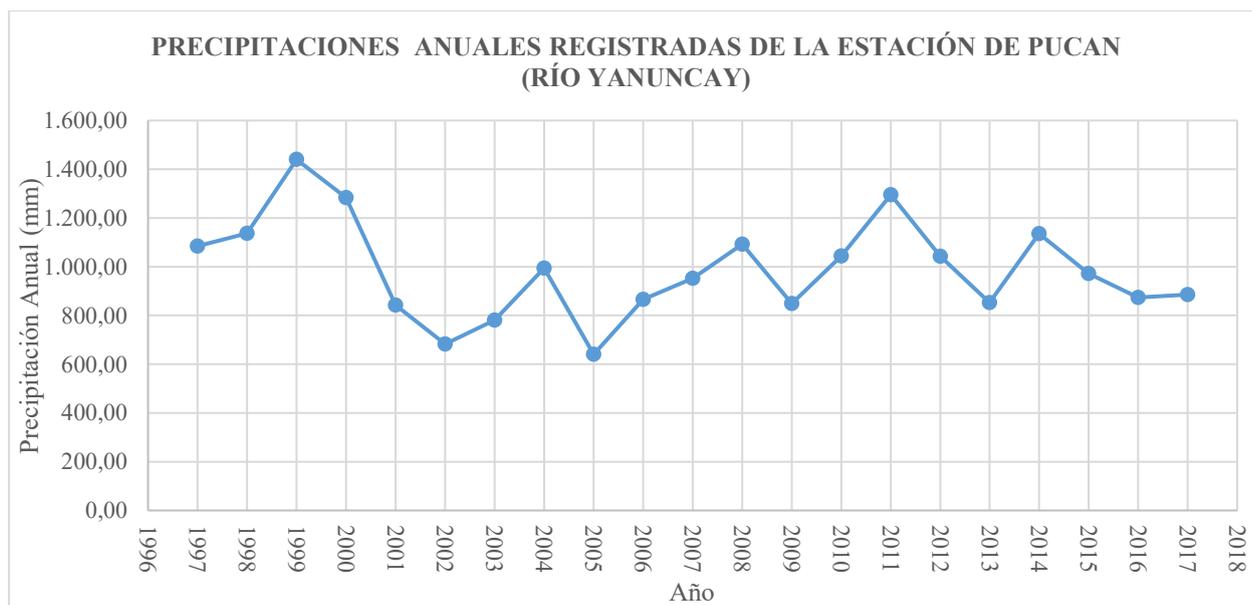
un promedio de precipitación máxima en 24 horas de 31.84 mm y en la Gráfica 3.3 se puede ver la precipitación anual que da como resultado un promedio de 986.1 mm.

Gráfica 3.2. Precipitaciones máximas 24h desde el año 1997-2017.



Fuente: ETAPA EP (2021).

Gráfica 3.3. Precipitaciones anuales desde el año 1997-2017.



Fuente: ETAPA EP (2021).

3.2.1.5. Edafología

El suelo es de origen fluvio-glaciar, el cual consiste de un suelo compuesto por grava gruesa con relleno de arena limosa, ligeramente arcillosa, e inclusiones de cantos y bolos gruesos, de formas sub-angulosas a sub-redondeadas, generalmente bien compactas y densas (ACOTECNIC Cía Ltda, 2020).

3.2.2. Componentes biológicos

3.2.2.1. Flora

La subcuenca del río Yanuncay pertenece a la zona de vida de Bosque Húmedo Montano, el cual es un bosque húmedo montano la vegetación es matorrales y arbustiva. Y también de acuerdo con las formaciones de vegetación del Ecuador la subcuenca corresponde a las siguientes formaciones vegetales como: Páramo de pajonal, Bosque Nublado y Vegetación arbustiva del sur (Ilustración 9) (ACOTECNIC Cía Ltda, 2020).

Foto 3.2. Flora de la cuenca alta del río Yanuncay.



Fuente: Autor.

3.2.2.2. Fauna

La fauna que se encuentra en la subcuenca del río Yanuncay corresponde al piso zoogeográfico alto andino, ubicado en la región Interandina del sur del Ecuador, la mayoría de las especies toleran los impactos ocasionados por las actividades del hombre y son comunes. La mayor representación de la fauna se encuentra en el grupo de las aves; en tanto que, los mamíferos, anfibios y reptiles están pobremente representados (Vallejo Llerena E. C., 2014).

3.2.2.3. Áreas protegidas

En la subcuenca existen áreas protegidas las cuales son críticas para la conservación de la biodiversidad de la subcuenca, sin embargo, muchas de ellas están siendo deforestadas. Por lo tanto, es fundamental cuidarlas debido a la importancia de las áreas protegidas para la conservación de la biodiversidad (Lee, Sodhi, & Prawiradilaga, 2007). La subcuenca posee áreas protegidas de gran importancia como: Parque Nacional Cajas, Área natural de recreación Quimsacocha, Área de Bosque y Vegetación Protectora Yanuncay Irquis, Área de Bosque y Vegetación Protectora Yunguilla (Loja Capón, 2013).

3.2.2.4. Áreas erosionadas

Para que se dé un área erosionada es indispensable comprender cómo el clima, la topografía y la cobertura del suelo afecta los procesos de erosión del suelo (Ochoa , y otros, 2016). La subcuenca del río Yanuncay tiene pocas áreas erosionadas o en proceso de erosión, porque posee una topografía bastante accidentada, la subcuenca posee 1.81 km² de áreas erosionadas y 1.98 km² en proceso de erosión (Albarracín Guachichulca, 2019).

3.2.2.5. Actividades de degradación de la subcuenca

En la cuenca alta del río Yanuncay hay algunas presiones para los recursos como practicas ganaderas, prácticas agrícolas. Actividades turísticas sin control, piscicultura y plantaciones de algunas especies como el pino. En la cuenca media del río existen actividades de forestación con especies exóticas, actividades agrícolas, prácticas de quema, deforestación en la zona para extender la frontera agrícola y un aumento en la urbanización. La zona baja de la cuenca está dominado a una urbanización total (Loja Capón, 2013).

3.2.3. Componentes sociales

La población de la subcuenca del río Yanuncay consta tanto de una población rural como urbana en donde se puede apreciar en la tabla 3.3 que existe una mayor población urbana y que esta está teniendo un crecimiento exponencial, debido a que en el año 2020 tuvo una población mucho más significativa que la rural.

Tabla 3.3. Población de la subcuenca del río Yanuncay.

POBLACIÓN URBANA Y RURAL DE LA SUBCUENCA DEL RÍO YANUNCAY			
Sector	Población 2010	Población 2015	Población 2020
Urbano	39,268	45,103	49,475
Rural	16,755	18,553	20,351
TOTAL	56,023	63,656	69,826

Fuente: Albarracín Guachichulca (2019).

3.2.3.1. Escolaridad

Existe una gran diferencia de la cantidad de centros educativos que existe en el sector urbano como en el rural, según el INEC el índice de analfabetismo es mayor en el sector rural con 10,9 % y para el sector urbano de 3,8, esto respecto al cantón Cuenca. Los centros educativos de la subcuenca del río Yanuncay se encuentran en su mayoría en la parte baja de la subcuenca, debido a que es el sector urbano y solo consta de 2 centros educativos en el sector rural que pertenecen a la parte alta de la subcuenca (Loja Capón, 2013).

3.2.3.2. Salud

Como la escolaridad existe una gran diferencia respecto a la salud, en los sectores urbanos como rurales que se encuentran en la subcuenca del río Yanuncay, para el sector urbano cuentan con la ciudad de Cuenca y para los sectores rurales que sería la parte alta de la subcuenca poseen un puesto de salud y un centro de salud “San Joaquín”, abastece de 2.000 a 10.000 habitantes (Albarracín Guachichulca, 2019).

3.2.3.3. Pobreza

En la subcuenca por el uso de sistemas productivos los cuales no son aptos para la zona, presentan cambios en el ecosistema, debido a que estos no generan un aporte económico que mejore la calidad de vida y según el Índice de Pobreza por necesidades Básicas Insatisfechas es un promedio del 69% (Loja Capón, 2013).

3.2.3.4. Servicios básicos

3.2.3.4.1. Agua potable

La subcuenca posee dos sistemas para abastecer a la población como: la red de agua potable de Sustag manejada por ETAPA EP, la cual abastece al sector urbano de la subcuenca y en parte al sector rural el cual pertenece a la parroquia de San Joaquín y la red de agua tratada de Nero, el cual abastece al sector rural que pertenece a la parroquia El Valle, pudiendo observar el desabastecimiento del agua potable para el sector alto y medio de la subcuenca, pero se ha previsto que para el año 2030 se abastecerá a 133.000 habitantes (ETAPA EP, 2021).

3.2.3.4.2. Alcantarillado

El alcantarillado de la subcuenca del río Yanuncay es manejado por ETAPA EP, por lo cual es similar al abastecimiento de agua potable. Para el sector urbano es de 93.91%, y para las parroquias rurales que pertenecen a la subcuenca como Baños 59.18%, Chaucha 11.2%, San Joaquín 41.43% y el Valle 31.06% (ACOTECNIC Cía Ltda, 2020).

3.2.3.4.3. Red vial

En las zonas altas y medias de la subcuenca sus vías no son asfaltadas, por lo cual la gente busca otros medios para movilizarse como por ejemplo animales de carga. En la zona baja de la subcuenca la situación es diferente y sus vías son asfaltadas debido a que es la zona urbana de la subcuenca, como se puede apreciar en la tabla 3.4 la longitud de las vías y su estado.

Tabla 3.4. Red vial de la subcuenca del río Yanuncay.

VÍAS DE LA SUBCUENCA DEL RÍO YANUNCAY		
NOMBRES	ESTADO	LONGITUD (Km)
<i>Autopista Cuenca-Azogues</i>	Pavimentada	3
<i>Av. Américas</i>	Pavimentada	
<i>Vía al Valle</i>	Pavimentada	
<i>Vía a Soldados</i>	En proceso de asfaltado	42
<i>Vía Chaucha</i>	Lastrada	
<i>Medio Ejido</i>	Asfaltada	6
<i>Baños- Barabón</i>	Lastrada	

Fuente: Albarracín Guachichulca (2019).

3.2.4. Componentes económicos

3.2.4.1. Actividades productivas de la subcuenca

Las principales actividades productivas de la zona alta y media de la subcuenca son: la producción de leche en mayor cantidad en el sector llamado Biocorredor, la ganadería en menor proporción en el sector llamado Soldados y en mínimas cantidades en el sector de la cuenca alta, también la venta de mano de obra, así como las actividades turísticas en el sector del Biocorredor, este sector cuenca con aguas termales. En la zona baja de la subcuenca las primordiales actividades es el comercio, la manufactura y la construcción (ACOTECNIC Cía Ltda, 2020).

3.3. Subcuenca del río Tomebamba

3.3.1 Componentes físicos

3.3.1.1. Localización

El río Tomebamba es uno de los principales ríos de Cuenca esta pasa por el centro de la ciudad (Foto 3.3), la superficie de la subcuenca del río Tomebamba es de 380.42 km². El río nace en la vertiente oriental de los Andes, en el Parque Nacional Cajas en el sector denominado tres cruces, el cual es un ecosistema de paramo y humedales que ayudan y contribuyen a la recarga hídrica, suministrando agua de alta calidad para la ciudad de la Sierra Andina, luego de su circulación por la ciudad, se une con el río Machángara formando el río Cuenca, este efluente llega a unirse con el río Santa Bárbara formando así el río Paute (Pesántez Quezada, 2015) .

Foto 3.3. Zona baja del río Tomebamba que cruza la ciudad de Cuenca.



Fuente: Autor.

3.3.1.2. Clima

La subcuenca del río Tomebamba posee 2 tipos de climas que son el frío andino que se encuentra en la parte alta de la subcuenca con una altitud de 3.200 a 4.700 m.s.n.m. con una temperatura que varía entre 4° C a 8 °C. En esta zona ubicada en la parte alta de la subcuenca se dan densas neblinas, aguaceros que son constantes en la mayoría del tiempo. Como se indicó, la subcuenca posee también el clima templado interandino que se encuentra a altitudes que están entre los 2.500 m.s.n.m. y los 3.200 m.s.n.m. con una temperatura que varía de 10°C a 18°C, se dan vientos constantes en épocas de lluvias templadas y en época seca produce un clima cálido con vientos fuertes (Vinuesa & Briones, 2011).

3.3.1.3. Geomorfología

La geomorfología de la subcuenca del río Tomebamba es un relieve montañoso, el cual contiene colinas alargadas y no tan amplias con estrechos y escarpados valles, también posee amplias colinas redondeadas con pendientes longitudinales entre 10° a 15°. Esta subcuenca también posee terrenos con relieves escarpados y colinas medianas que ocupan un menor territorio (Pesántez Quezada, 2015) .

3.3.1.4. Hidrología

La subcuenca del río Tomebamba es alimentado por algunos afluentes importantes como lo son el río Matadero, el río Culebrillas, río Taytachuco y el río Tomebamba (Ilustración 3.3), después

de la ciudad de Cuenca el río Tomebamaba confluye en el río Yanuncay, el cual es afluente por la margen derecha del río Paute (GAD Sayausí, 2015).

Ilustración 3.3. Mapa de los ríos que pertenecen a la Subcuenca del río Tomebamba.

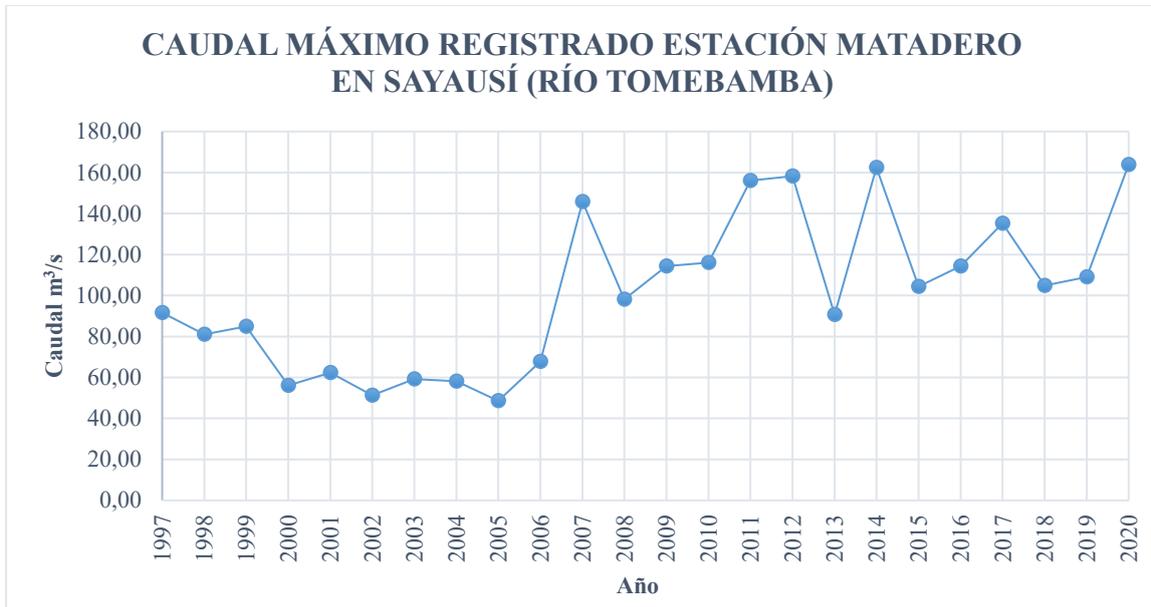


Fuente: IERSE (2008).

Para el estudio de los caudales se utilizó datos obtenidos de la estación matadero en Sayausí, el caudal medio obtenido de la serie desde 1997 al 2020 es de 4.92 m³/s pero se han observado algunos eventos que superan los 30 m³/s, el cual se considera un caudal normal que debería mantener el río y no superarlo, también han existido eventos que han superado los 50 m³/s, caudales que ponen en riesgo a la ciudadanía que viven a los alrededores del río.

Como se puede ver la Gráfica 3.4 en donde se han producido doce eventos en la cual se han registrado caudales máximos mayores a 100 m³/s entre los últimos 24 años. Siendo el año 2020 con el mayor caudal producido de 163.91 m³/s según datos obtenidos de ETAPA EP (2021).

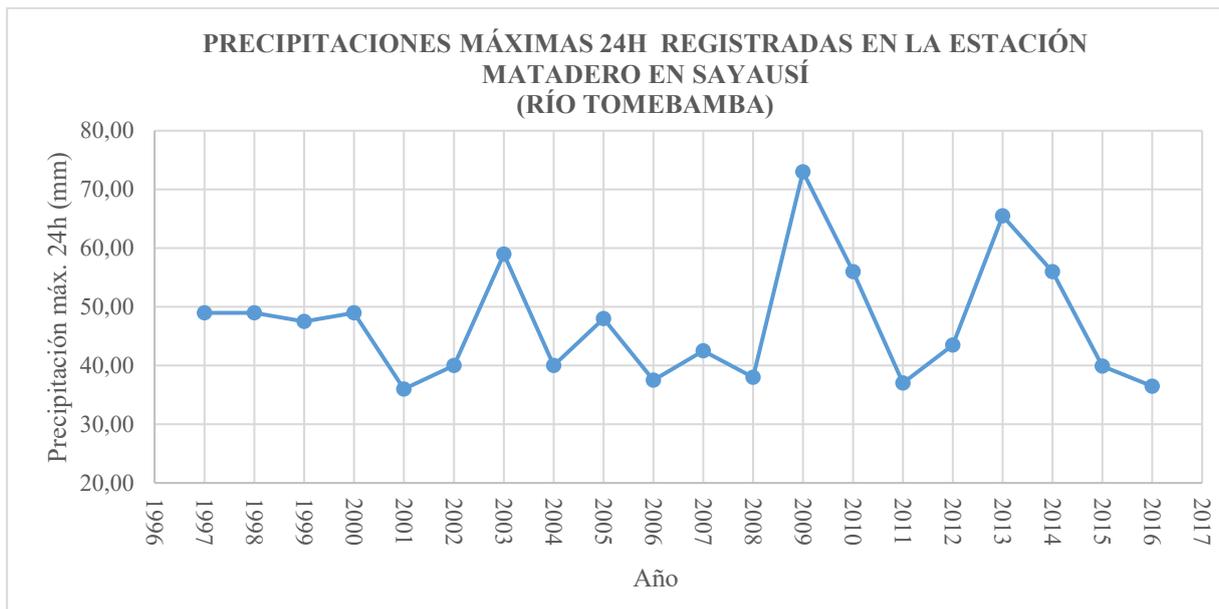
Gráfica 3.4. Caudales máximos registrados desde 1997-2020.



Fuente: ETAPA EP (2021).

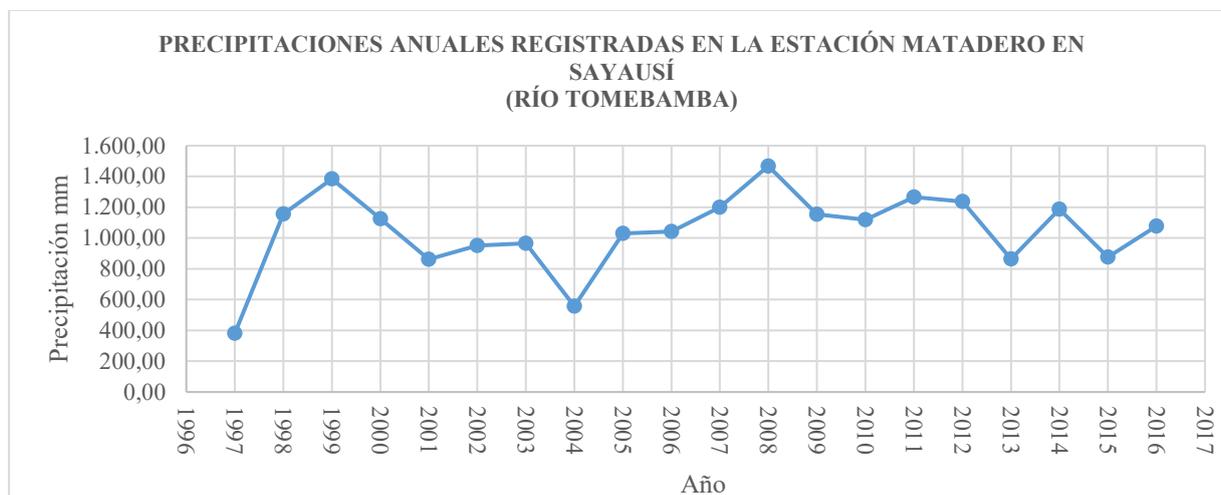
En la gráfica 3.5 se puede ver con respecto a las precipitaciones máximas registradas en 24h de la estación matadero en Sayausí (río Tomebamba) desde el año 1997-2016 tiene un promedio de 47.15mm y una precipitación anual (Gráfica 3.6) de 1,085.8 mm.

Gráfica 3.5. Precipitaciones máximas 24h desde 1997-2016.



Fuente: ETAPA EP (2021).

Gráfica 3.6. Precipitaciones anuales desde el año 1997-2016.



Fuente: ETAPA EP (2021).

3.3.1.5. Edafología

El suelo de la subcuenca consiste de un suelo compuesto en un 76% de origen inceptisol que poseen un alto contenido de materia orgánica, pero debido a las bajas temperaturas que posee la subcuenca en sus zonas altas, tiene una tasa baja de descomposición. También tiene un 9.8% de suelos alfisoles que pertenecen a regiones húmedas y permanecen así la mayor parte del año, un 4.3% de suelos vertisoles que son suelos minerales y un 1.4% de suelos molisoles, los cuales poseen una buena descomposición de M.O (Pesántez Quezada, 2015).

3.3.2. Componentes biológicos

3.3.2.1. Flora

La subcuenca del río Tomebamba posee una gran cantidad de vegetación, debido a que en su territorio se encuentra en el Área Protegida del Parque Nacional Cajas. La parte alta de la subcuenca posee una vegetación típica del páramo andino, la cual consta en mayor parte de paja de paramo (GAD Sayausí, 2015). En la zona baja la vegetación nativa ha sido reemplazada por cultivos, pastos, bosques de pino y eucalipto.

3.3.2.2. Fauna

La subcuenca consta con una fauna abundante que habitan las zonas altas, medias y bajas de la subcuenca como ñañas (zorrillos), cóndores, conejos, gallinas de monte, gavián, golondrinas, gorriones, lagartijas, lechuzas, pava de monto, raposo, trucha, venados y zorros (Galarza Galarza & Chicaiza Rivera, 2008).

3.3.2.3. Áreas protegidas

Las áreas naturales se han protegido como lugares sagrados, fuentes de alimento y otros recursos naturales, en la apreciación del paisaje y las oportunidades de recreación y para conservar la biodiversidad (Boucher, Spalding, & Revenga, 2013). Por lo cual, la subcuenca del río Tomebamba posee una gran cantidad de áreas de bosque y vegetación protectora como: Bosque protector Machángara-Tomebamba de cual 13.700 ha pertenecen a la subcuenca del río Tomebamba, bosque protector Dudahuayco, Bosque protector Yunguilla, bosque protector

Guabidula, bosque protector Fierroloma y el Parque Nacional Cajas, de este último 13,026 ha se encuentran en la subcuenca (Segarra Rojas, 2016).

3.3.2.4. Áreas erosionadas

La erosión del suelo sobre la productividad depende del perfil y la horizontalidad del suelo, el terreno, el manejo del suelo y las características climáticas. Hay tantos factores y procesos responsables de la erosión del suelo (Balasubramanian, 2017), debido a esto en la subcuenca existen 14,507.32 ha que tienen un nivel alto de erosión y 9,020.66 ha en proceso de erosión (Pesántez Quezada, 2015).

3.3.2.5. Actividades de degradación de la subcuenca

El río recorre zonas ganaderas, asentamientos humanos dispersos y áreas turísticas o actividades piscícolas. Al rededor del río se realizan actividades culturales, artísticas y deportivas debido a que es un lugar pintoresco; también se usan para actividades nocturnas con presencia de locales comerciales, hoteles, bares, restaurantes, discotecas, entre otras actividades. Debido a la expansión de la ciudad, el río Tomebamba se ha convertido en parte del casco central, donde caminar y hacer turismo son actividades diarias tanto para locales como afuerños. Con respecto al entorno natural del río Tomebamba, posee piedras y aguas profundas, se producen inundaciones y sequias extremas. La mayor parte de la contaminación en el río Tomebamba se debe a la urbanización debido a que la principal causa de contaminación del río Tomebamba durante la época de lluvias son las aguas residuales que se vierten directamente al río sin ningún tratamiento previo (GAD Sayausí, 2015).

3.3.3. Componentes sociales

En la subcuenca del río Tomebamba se encuentran establecidas tres parroquias que son: parroquia Sayausí, parroquia San Joaquín y la parroquia Cuenca en la parte baja. La parroquia Sayausí abarca un 80% de todo el territorio de la subcuenca (Pesántez Quezada, 2015).

3.3.3.1. Escolaridad

En la subcuenca el 91,01% de la población sabe leer y escribir y el 8,91% no lo sabe, en la parroquia Sayausí la población no culmina su formación académica, teniendo así un talento humano sin mayor profesionalismo y especialización. Como se puede ver en la tabla 3.5 los niveles de educación que posee la parroquia Sayausí.

Tabla 3.5. Porcentaje del nivel de educación que posee la subcuenca del río Tomebamba.

NIVEL DE EDUCACIÓN	%
<i>Ninguno</i>	4,87%
<i>Centro de alfabetización/ Preescolar</i>	1,36%
<i>Educación primaria</i>	38,56%
<i>Educación básica</i>	18,87%
<i>Nivel Secundario</i>	17,70%
<i>Bachillerato</i>	6,21%
<i>Superior/Posgrado</i>	10,05%
<i>Se ignora</i>	2,38%
TOTAL	100%

Fuente: GAD Sayausí (2015).

3.3.3.2. Salud

Como es una parroquia rural la mayoría de la población (36,9%) cura sus enfermedades con tratamientos naturales que proporcionan las curanderas y comadronas. El resto de la población (52,4%) asiste al subcentro de salud N°4 del Ministerio de Salud Pública, es decir buscan tratamientos de profesionales y el 10,7% acude a farmacias (Pesántez Quezada, 2015).

3.3.3.3. Pobreza

Debido a que es una parroquia rural Sayausí los principales problemas que tiene la parroquia se debe a que los hogares no pueden abordar determinadas características básicas, como el acceso al agua potable, los sistemas de saneamiento, la salud adecuada, etc. (GAD Sayausí, 2015).

3.3.3.4. Servicios básicos

3.3.3.4.1. Agua potable

La subcuenca del río Tomebamba aporta el 60% de agua potable para la ciudad de Cuenca, el sistema de agua potable existente solo se aplica a los asentamientos ubicados cerca de la sede parroquial y a los cercanos a la ciudad de Cuenca. Esto significa que solo 12 de los 33 asentamientos cuentan con servicio de agua a través de la red pública, y esto no se aplica a todos los asentamientos debido al crecimiento descentralizado de la parroquia (GAD Sayausí, 2015).

3.3.3.4.2. Alcantarillado

Apenas el 37% de las viviendas de la población posee alcantarillado, por lo cual poseen distintos sistemas para eliminar las aguas servidas como pozos sépticos, pozos ciegos y descargas directas al río o a las quebradas (Pesántez Quezada, 2015).

3.3.3.4.3. Red vial

En las zonas altas y media de la parroquia Sayausí sus vías no son asfaltadas, por lo cual la gente busca otros medios para movilizarse como por ejemplo animales de carga. En la zona baja de la subcuenca la situación es diferente y sus vías son asfaltadas. Como se puede ver en la tabla 3.6 el asfalto que cubre una longitud de 33.83 Km que corresponden al 36.55% del total de vías, lastre cubre al 23.88%, mientras que la de tierra cubre el 32.22 Km de vías lo que equivale al 35.89%; también se cuenta con 3.41 Km de vía empedrada que conduce a Llaviuco que corresponde al 3.68% del total (GAD Sayausí, 2015).

Tabla 3.6. Red vial de la Subcuenca del río Tomebamba.

<i>Descripción</i>	<i>Longitud (km)</i>	<i>%</i>
<i>Asfalto</i>	33,83	36,55
<i>Lastre</i>	22,11	23,88
<i>Tierra</i>	33,22	35,89
<i>Empedrada</i>	3,41	3,68
TOTAL	92,57	100

Fuente: GAD Sayausí (2015).

3.3.4. Componentes económicos

3.3.4.1. Actividades productivas de la subcuenca

Las principales actividades productivas en la subcuenca del río Tomebamba: en la zona alta y media es la actividad ganadera especializada en la producción de leche que se desarrolla a lo

largo del corredor Tomebamba-Cajas. También existen las actividades turísticas como la pesca deportiva de truchas. En la zona baja es la venta de mano de obra, producción de hortalizas, crianza de animales de granja en menor cantidad y la producción de ladrillos (Foto 3.4) (Segarra Rojas, 2016).

Foto 3.4. Actividades que se realizan alrededor del río Tomebamba.



Fuente: Autor.

3.4. Subcuenca del río Tarqui

3.4.1. Componentes físicos

3.4.1.1. Localización

La subcuenca del río Tarqui se encuentra situada en la provincia del Azuay, nace en la zona alta de la cuenca del río Paute en el área montañosa, fluye a través del valle en su parte central hacia el norte antes de unirse con el río Yanuncay, la superficie de la subcuenca del río Tarqui es de 476,30 km², alcanza una altura de 3.700 m.s.n.m. y su punto más bajo es de 2.600 m.s.n.m. (Palma Zambrano & Villagómez Dávalos, 2010).

3.4.1.2. Clima

Es característico de la zona alta andino, el cual posee bajas temperaturas durante gran parte del año, heladas durante la noche y neblina. La temperatura de la subcuenca varía en promedio entre los 7°C-12°C (Jaramillo Ochoa, 2011). Representa algunas áreas con una precipitación anual promedio que varía de 770 mm a 1000 mm. La mayor precipitación se presenta en la parte occidental en las comunidades de Tutupali Chico y Tutupali Grande (GAD Tarqui, 2015).

3.4.1.3. Geomorfología

La subcuenca se caracteriza por poseer colinas medianas, relieves escarpados, relieves montañosos, algunas zonas con superficies de aplanamiento, así como vertientes convexas, cóncavas e irregulares (Vallejo Llerena E. C., 2014).

3.4.1.4. Hidrología

La subcuenca del río Tarqui tiene elevaciones moderadas, por lo cual, se le considera como la más baja de las cuencas de los ríos que atraviesan la ciudad de Cuenca, pero hay que recalcar que es la más extensa (Foto 3.5). El río Tarqui se vierte en el río Yanuncay después es afluente del río Tomebamba y cuando este se une al río Machángara se convierte en el río Cuenca, el cual es afluente del río Paute.

Foto 3.5. Río Tarqui.



Fuente: Autor.

El río nace en la parte alta de los páramos de Cumbe y Victoria del Portete. Los ríos Portete, Irquis, San Agustín, Cumbe y Zhucay son los ríos que integran esta subcuenca. Asimismo, en la región alta existe un conjunto de pequeñas lagunas de origen glaciar. (Ilustración 3.4).

Ilustración 3.4. Mapa de los ríos que pertenecen a la Subcuenca del río Tarqui.

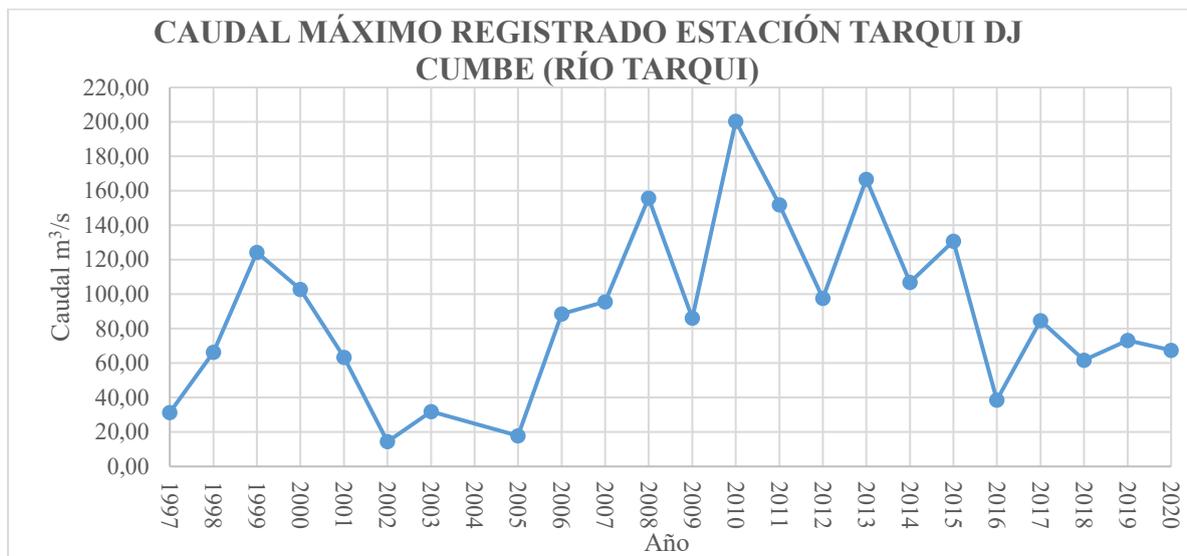


Fuente: IERSE (2008).

Para el estudio de los caudales se utilizó datos obtenidos de la estación Tarqui DJ Cumbe, el caudal medio obtenido de la serie desde 1997 al 2016 es de $93,23 \text{ m}^3/\text{s}$, pero se han observado varios eventos que superan los $30 \text{ m}^3/\text{s}$, el cual se considera un caudal normal que debería mantener el río y no superarlo, también han existido eventos que han superado los $50 \text{ m}^3/\text{s}$ en donde ya son caudales que ponen en riesgo a la ciudadanía que viven a los alrededores del río.

Como se puede ver la gráfica 3.7 en donde se han producido ocho eventos en la cual se han registrado caudales máximos mayores a 100 m³/s entre los últimos 20 años. Siendo el año 2010 el mayor caudal registrado de 200.4 m³/s según datos obtenidos de ETAPA EP (2021).

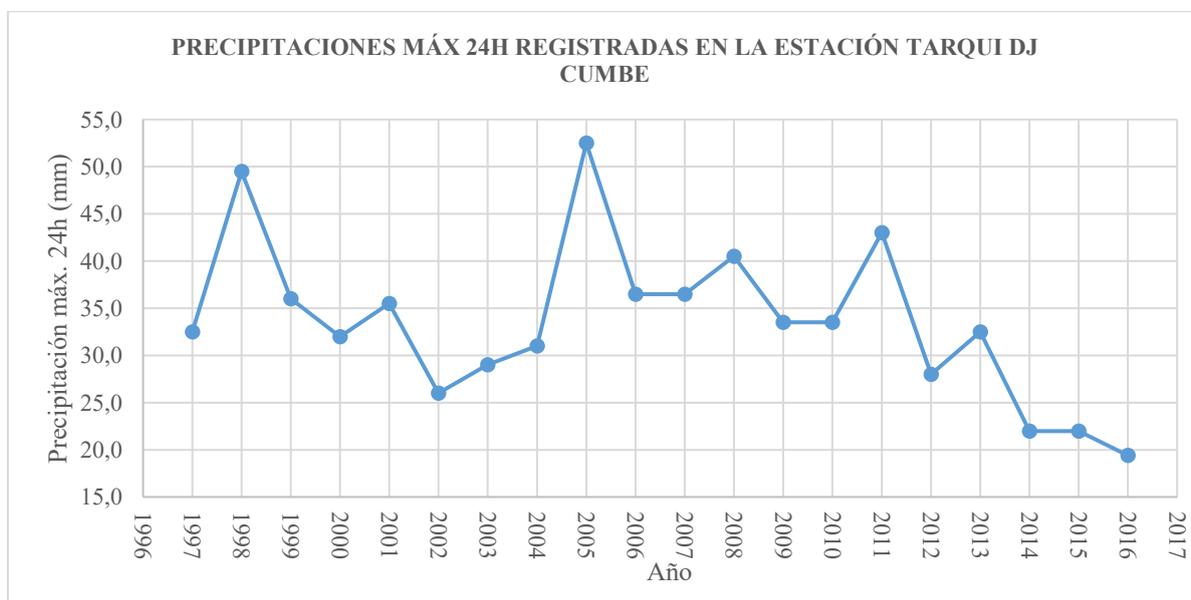
Gráfica 3.7. Caudales máximos registrados desde 1997-2020.



Fuente: ETAPA EP (2021).

En la gráfica 3.8 se puede ver con respecto a las precipitaciones máximas en 24h registradas de la estación Tarqui DJ Cumbe (río Tarqui) desde el año 1997-2016 tiene un promedio de 33.6 mm y en la gráfica 3.9 el promedio de las precipitaciones anuales que es de 825.5 mm.

Gráfica 3.8. Precipitaciones máximas 24h desde el año 1997-2016.



Fuente: ETAPA EP (2021).

Gráfica 3.9. Precipitaciones anuales desde el año 1997-2016.



Fuente: ETAPA EP (2021).

3.4.1.5. Edafología

La subcuenca del río Tarqui está compuesta por suelos enriquecidos de arcillas y por materiales sedimentados y con una alta cantidad de materia orgánica (Pesántes Coronel & Suárez González, 2020).

3.4.2. Componentes biológicos

3.4.2.1. Flora

En la zona de la subcuenca se encuentran tres zonas de vida como: el montano, montano alto y el páramo. En la parte alta se localizan el páramo de pajonal, paramo herbáceo de almohadillas, así como el páramo arbustivo del sur, debido a que se encuentran en zonas con latitudes de 3.000 m.s.n.m a 3.500 m.s.n.m. (GAD Tarqui, 2015). También en la zona baja de la subcuenca, que pertenece a bosque montano, se encuentran árboles alrededor del río (Foto 3.6).

Foto 3.6. Vegetación alrededor del río Tarqui en la zona urbana de la ciudad de Cuenca.



Fuente: Autor.

3.4.2.2. Fauna

La subcuenca posee una gran variedad de avifauna, como en la parte baja de la subcuenca: quillillico, mirlo, colibrí herrero; también posee algunos mamíferos como: zarigüeya de orejas blancas, chucurillo. En la parte alta de la subcuenca habitan: caracará curiingue, cóndor andino, venado de cola blanca, oso de anteojos y musaraña montana del sur (Pesántes Coronel & Suárez González, 2020).

3.4.2.3. Áreas protegidas

Las áreas protegidas son lugares donde se realizan esfuerzos conscientes para preservar no solo las especies silvestres, sino también los ecosistemas en los que viven las especies (Hunter, Kanga, & Wong, 2015). En las subcuencas donde la mayor parte del paisaje ya se ha transformado por la agricultura, las áreas protegidas de la subcuenca del río Tarqui son: el Parque Nacional Cajas, el área de recreación de Quimsacocha, patrimonio forestal Totoracocha, la microcuenca del río Irquis, microcuenca de la quebrada Yunga, Sun Sun Yanasacha, el Chorro y el área de bosque y vegetación protectora Totorillas (Palma Zambrano & Villagómez Dávalos, 2010).

3.4.2.4. Áreas erosionadas

Las áreas erosionadas es una causa importante que produce el deterioro de la calidad del agua en ríos y arroyos. Una gran cantidad de sedimentos son generados por las construcciones que se realizan a los alrededores de las subcuencas (CleanWather, 2020). En la subcuenca del río Tarqui existen 24.61 ha erosionadas lo cual representa el 0.05% (Palma Zambrano & Villagómez Dávalos, 2010).

3.4.2.5. Actividades de degradación de la subcuenca

La mayor parte de la subcuenca es destinada a la ganadería, especialmente en la parroquia Tarqui. Las principales actividades que son fuente de contaminación en el área rural de la ciudad de Cuenca para el río Tarqui son: expansión rural dispersa, ganadería, restaurantes, pesca deportiva, actividades industriales y turísticas (Pesántes Coronel & Suárez González, 2020).

3.4.3. Componentes sociales

3.4.3.1. Escolaridad

En la subcuenca la mayoría de la población que vive en la zona ha alcanzado solamente la educación primaria, como se puede observar en tabla 3.7, mientras que solo el 15% de la población de la subcuenca ha alcanzado el nivel de educación superior.

Tabla 3.7. Población de la Subcuenca del río Tarqui.

NIVEL DE EDUCACIÓN	PORCENTAJE
<i>Educación primaria</i>	57%
<i>Educación secundaria</i>	28%
<i>Educación superior</i>	15%
TOTAL	100%

Fuente: GAD Tarqui (2015).

3.4.3.2. Pobreza

En la subcuenca del Tarqui solo el 68% de la población cuenta con los servicios básicos que son la energía, alcantarillado y agua potable, mientras que el 32% de la población no cuenta con todos los servicios.

3.4.3.3. Servicios básicos

3.4.3.3.1. Agua potable

El medio de abastecimiento de agua por medio de la red pública tiene una cobertura del 60,08% del total de los hogares, el 25,33% le corresponde a la media de abastecimiento por río o acequia, porcentaje que prácticamente se ha mantenido en los últimos 10 años, mientras que el de la red pública ha tenido un incremento de 10,5% en comparación con la información de 2001 (GAD Tarqui, 2015).

3.4.3.3.2. Alcantarillado

Durante la remoción de aguas residuales de la subcuenca hidrográfica, solo el 12,19% lo hace a través de redes públicas, a través de fosas sépticas el 41,18%, mientras que el 87,81% descarga directamente a los cauces hídricos. En la parroquia Tarqui usan los pozos ciegos un 9,70% de la población. Comparando la información obtenida de los dos últimos censos, la forma más común de tratamiento de aguas residuales se ha incrementado tanto en el 14,74% en el uso de fosas sépticas, y en la descarga a la red pública en el 4,59 % (GAD Tarqui, 2015).

3.4.3.3.3. Red vial

Las vías de acceso de la subcuenca son asfaltadas pero la mayoría son caminos de lastre, aunque para ingresar a algunos sectores es por medio de senderos. En la tabla 3.8 se ve que un 45% con asfalto siguiéndole las vías de tierra y lastre un 43%, concreto 8% y senderos 4%.

Tabla 3.8. Red vial de la Subcuenca del río Tarqui.

VÍAS DE ACCESO DE LA SUBCUENCA DEL RÍO TARQUI	
VÍAS DE ACCESO	PORCENTAJE
<i>Asfalto</i>	45
<i>Lastre</i>	43
<i>Concreto</i>	8
<i>Senderos</i>	4
TOTAL	100

Fuente: Pesántes Coronel & Suárez González (2020).

3.4.4. Componentes económicos

3.4.4.1. Actividades productivas de la subcuenca

En la subcuenca del río Tarqui su mayor actividad productiva es la ganadería para la producción de leche, esta actividad abarca un área de 24,760.20 ha que representa el 51.69% de la cobertura del suelo. También una de sus actividades es la agricultura, así como la provisión de mano de obra (Pesántes Coronel & Suárez González, 2020).

3.5. Subcuenca del río Machángara

3.5.1. Componentes físicos

3.5.1.1. Localización

La cuenca del río Machángara posee una superficie de 32 599 ha. Esta no está solo en el cantón Cuenca, sino que el 30% está en la provincia del Cañar. De los 32. 599 ha que posee la cuenca, 25.225 ha son bosque y vegetación protectora que es el 77.6 % del área total. Su rango altitudinal está entre los 2500 m.s.n.m que sería la ciudad de Cuenca hasta los 4400 m.s.n.m (Borrero, 2020).

3.5.1.2. Clima

La parte alta de la cuenca posee características climáticas de páramo, mientras que en la parte media y baja se acerca al clima templado. Su temperatura media varía entre 8,1 °C y 14 °C, la humedad relativa está entre el 76 % y 88 % y su precipitación media entre 856 mm y 1.309 mm (ACOTECNIC CIA LTDA, 2013).

3.5.1.3. Geomorfología

La mayor parte de la superficie de la zona media de la subcuenca está cubierta por pastizales y plantaciones de eucalipto y pino, intercalados con menores superficies de bosque primario y chaparro ubicados en los declives de cerros y colinas y en las pendientes de ríos y quebradas (ACOTECNIC CIA LTDA, 2013).

3.5.1.4. Hidrología

La subcuenca del río Machángara está conformado en la zona alta de la subcuenca por el río Chulco (Foto 3.7).

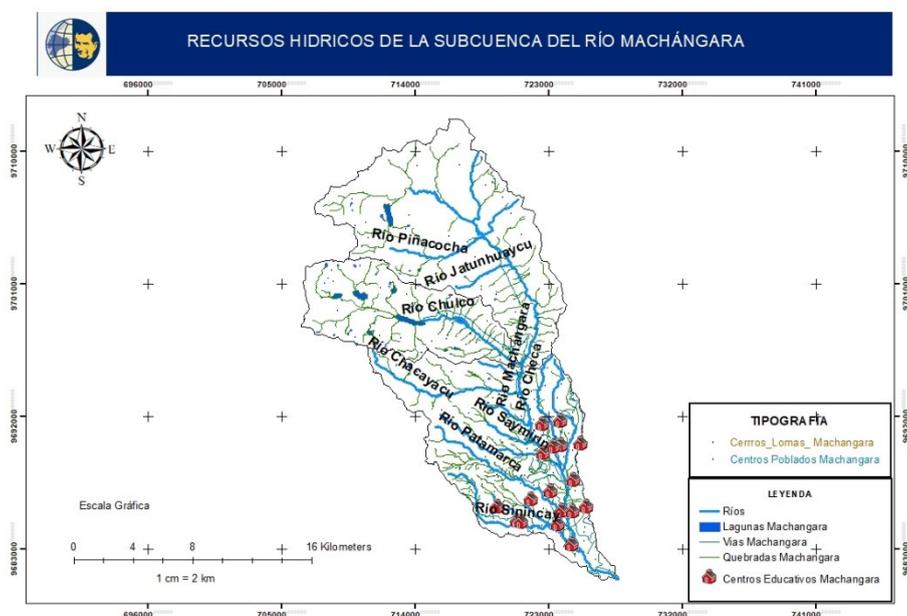
Foto 3.7. Cuenca alta del río Chulco.



Fuente: Autor.

La subcuenca del Machángara posee las represas de Chanlud y El Labrado, la laguna de Tamplacochoa y la laguna de Chulcocochoa, a más de varias lagunas (Ilustración 3.5).

Ilustración 3.5. Mapa de los ríos que pertenecen a la Subcuenca del río Machángara.

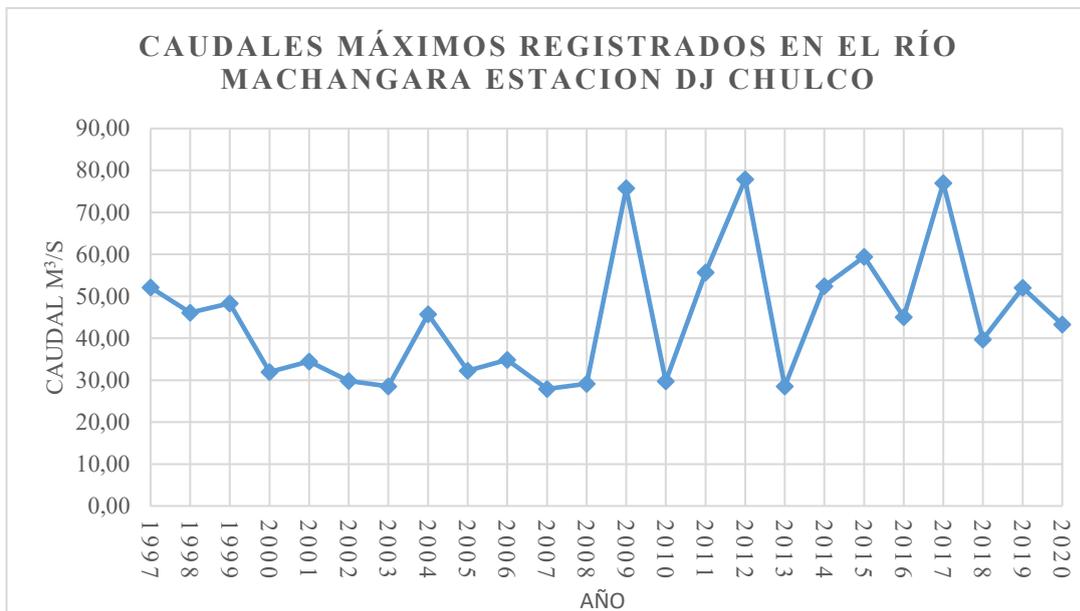


Fuente: IERSE (2008).

Para el estudio de los caudales se utilizó datos obtenidos de la estación DJ Chulco, el caudal medio obtenido de la serie desde 2001 al 2013 es de $4.73 \text{ m}^3/\text{s}$ pero se han observado algunos eventos que superan los $30 \text{ m}^3/\text{s}$, el cual se considera un caudal normal que debería mantener el río y no superarlo. Sin embargo, han ocurrido pocos eventos que superen los $50 \text{ m}^3/\text{s}$, en donde ya son caudales que ponen en riesgo a la ciudadanía que viven a los alrededores del río principal que es el río Tomebamba.

Como se puede ver la Gráfica 3.10 en donde se han producido tres eventos en la cual se han registrado caudales máximos mayores a $50 \text{ m}^3/\text{s}$. Siendo el año 2012 el mayor caudal producido de $77.88 \text{ m}^3/\text{s}$ según datos obtenidos de ETAPA EP (2021).

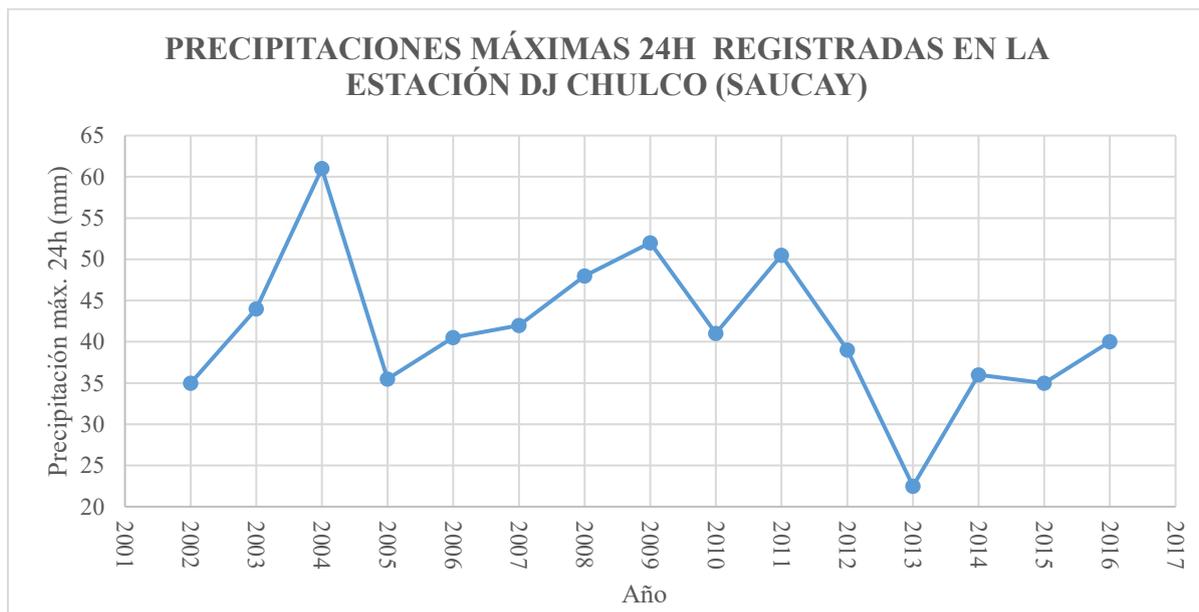
Gráfica 3.10. Caudales máximos registrados desde 1997-2020.



Fuente: CELEC (2013).

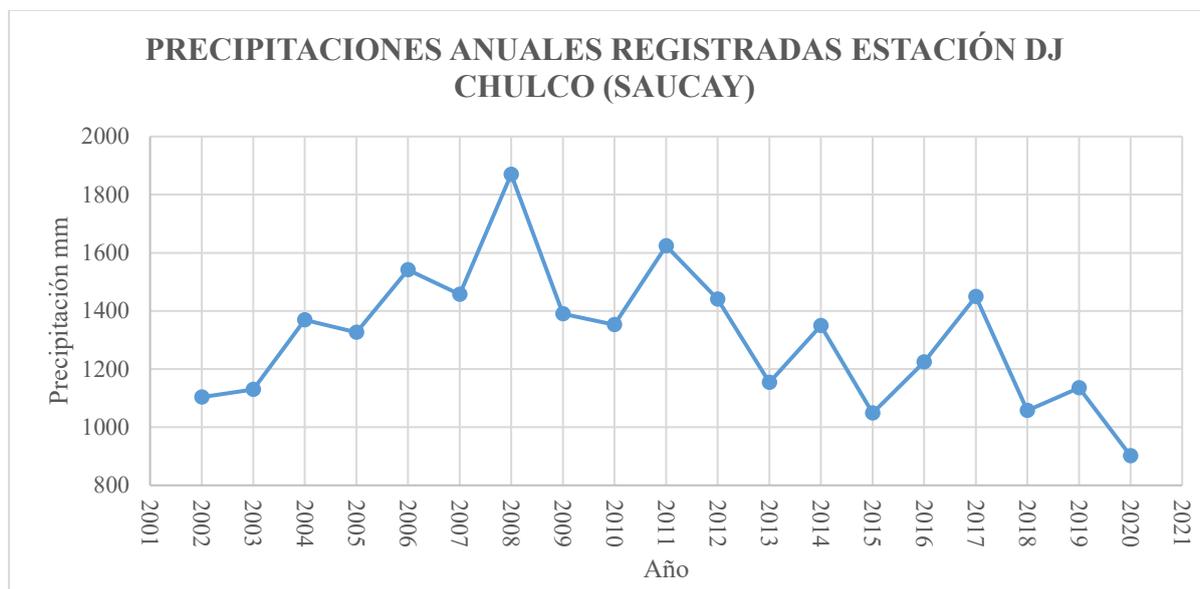
En la gráfica 3.11 se puede ver con respecto a las precipitaciones máximas en 24h registradas de la estación desde el año 2002-2016 tiene un promedio de 41.47 mm y en la gráfica 3.12 el promedio de las precipitaciones anuales que es de 1,414.8 mm.

Gráfica 3.11. Precipitaciones máximas 24h desde 2002-2016



Fuente: ETAPA EP (2021).

Gráfica 3.12. Precipitaciones anuales desde el año 2002-2020.



Fuente: ETAPA EP (2021).

3.5.1.5. Edafología

La edafología de la cuenca alta del Machángara (valles de los ríos Chulco, Machángara, Chacayacu, desde las cabeceras hacia Saucay), se encuentran varios depósitos morrénicos que inicialmente podrían confundirse con depósitos de origen gravitacional y fluvial, el origen gravitacional son especialmente morrenas laterales y los depósitos fluvio-glaciales son partes cercanos de los ríos (Carchi García , 2015).

3.5.2. Componentes biológicos

3.5.2.1. Flora

La flora de la subcuenca del Machángara, está caracterizada por la presencia de un mosaico de tipos de coberturas como resultado de factores ecológicos y de las dinámicas de uso de suelo. Sin embargo, en el área aún persisten remanentes de vegetación muy importantes que son fundamentales para la preservación de la biodiversidad y la regulación de los caudales hídricos. La presencia de remanentes de vegetación nativa, posibilitan la presencia de una gran riqueza florística lo cual se ve reflejado en la presencia de alrededor de 70 especies de árboles y 276 especies de plantas vasculares. También posee más de 30 especies endémicas, muchas de las cuales son nuevos registros para el área y la región en general, por ejemplo, *Lysipomia oellgardii* y *Gregia umbrosa*. (Foto 3.8) (ACOTECNIC CIA LTDA, 2013).

Foto 3.8. Flora de la cuenca alta del río Machángara.



Fuente: Autor.

3.5.2.2. Fauna

En la subcuenca del río Machángara existe un total de 92 especies distribuidas en 29 familias y 12 órdenes. La zona de páramo presentó un total de 62 especies, distribuida en 22 familias y 9 órdenes, mientras que en el área de bosque se registraron un total de 65 especies pertenecientes a 23 familias de 6 órdenes. Se han registrado tres especies dentro de alguna categoría de amenaza: el cóndor andino en peligro crítico, el loro carirojo y el metalura gorjivioleta en peligro según la lista roja de las aves del Ecuador. La subcuenca del río Machángara es un área interesante para el avistamiento de aves y, sobre todo guarda una muestra representativa de la avifauna de los valles interandinos (ACOTECNIC CIA LTDA, 2013).

3.5.2.3. Áreas protegidas

Las áreas protegidas de la subcuenca son lugares donde se han realizado esfuerzos conscientes hecho para preservar no solo las especies silvestres, sino también el ecosistema en la que viven las especies. La zona media y baja de la subcuenca donde la mayor parte del paisaje ya se ha transformado por la agricultura y la ganadería, por lo cual las áreas protegidas que posee la subcuenca son el bosque protector Machángara el cual posee 25,225.07 ha de gran importancia hídrica (Carchi García , 2015).

3.5.2.4. Áreas erosionadas

Se han detectado varias zonas con problemas de erosión y el consiguiente arrastre de sólidos, estos están relacionados con los caudales máximos, que se producen durante las lluvias de mayor intensidad. Los fenómenos que se observan son grandes cárcavas e inestabilidad de laderas (Carchi García , 2015).

3.5.2.5. Degradación de la subcuenca

La calidad del agua de la cuenca baja del río Machángara se va deteriorando conforme avanza su cauce, aguas abajo. Antes de que se junte con el río Tomebamba, existen aguas fuertemente contaminadas con una calidad de agua crítica. Así mismo la calidad de las aguas de los ríos y quebradas que aportan en esta parte de la cuenca es de tipo dudosa, advirtiendo un aporte con aguas contaminadas, en especial la quebrada Caparosa y el río Patamarca, que fluctúan entre contaminadas y muy contaminadas. En general la cuenca baja del río Machángara se conserva con una calidad dudosa, este criterio se mantiene hasta antes de la llegada al centro de faenamiento y al parque industrial de la ciudad de Cuenca. Es necesario mencionar que en este tramo del río están presentes numerosas descargas de aguas servidas provenientes de los diversos centros poblados del sector (ACOTECNIC CIA LTDA, 2013).

3.5.3. Componentes sociales

La cuenca del río Machángara es el único río de los cuatro que pasan por la ciudad de Cuenca que está siendo regulado, la cuenca es utilizada para 4 usos principales que son el agua para consumo humano en un 60%, agua para riego y seguridad alimentaria, conservación ecológica del río, y por último se utiliza para la producción de hidroenergía, que en las dos centrales de Saucay y Saymirín se producen 39.5 MW (Borrero, 2020). Con respecto al caudal ecológico la represa de El Labrado aporta con 45 l/s, Chanlud con 90 l/s.

3.5.3.1. Escolaridad

En el área de estudio se estima una población mayor de 15 años de 6441 habitantes, de los cuales 5,540 (86%) saben leer y escribir y 901 (14%) no saben leer ni escribir, como se aprecia en la tabla 3.9 (ACOTECNIC CIA LTDA, 2013).

Tabla 3.9. Nivel de educación de la Subcuenca del río Machángara.

NIVEL DE EDUCACIÓN	PORCENTAJE
<i>Ninguno</i>	10,3%
<i>Centro de alfabetización/ Preescolar</i>	1,8%
<i>Educación primaria</i>	45,4%
<i>Educación básica</i>	16,8%
<i>Nivel Secundario</i>	13,5%
<i>Bachillerato</i>	4,9%
<i>Superior/Posgrado</i>	4,9%
<i>Se ignora</i>	2,4%
TOTAL	100%

Fuente: ACOTECNIC CIA LTDA (2013).

3.5.3.2. Salud

El equipamiento de salud se halla ubicado en su totalidad en la zona baja de la subcuenca y está compuesto básicamente por unidades operativas del primer nivel del MSP y el Seguro Campesino.

3.5.3.3. Pobreza

La situación de pobreza en la subcuenca del Machángara es que el 37,6% de la población gasta diariamente menos de 2,35 dólares por persona, el 10,3 % apenas puede realizar un gasto

inferior a 1,35 dólares y por otra parte solo un 8,8% puede disponer de un gasto diario mayor a 4,35 dólares y el 34,6% tiene ingresos mayores a \$ 3,35 (ACOTECNIC CIA LTDA, 2013).

3.5.3.4. Servicios básicos

3.5.3.4.1. Agua potable

La mayor parte de la población consume agua potable o entubada, provista principalmente por los sistemas comunitarios; pues solamente el 10,3% de los hogares tiene acceso al agua potable provisionada por ETAPA EP, el 41,2% de la población de la subcuenca disponen de agua a través de los diferentes sistemas comunitarios de agua potable (Patamarca, Shagri, Checa y Santa Teresita de Chiquintad), el 37,1%, de agua entubada comunitaria. Mientras el 11,3%, accede a aguas de vertiente, río o canal para el consumo humano (Borrero, 2020).

3.5.3.4.2. Alcantarillado

Las cabeceras parroquiales de Chiquintad, Checa y Sinincay, así como los sectores de Tixán y Bellavista, Rosaspamba y Corpanche, Victoria Baja y San Vicente de Mayancela cuentan con red de alcantarillado; (Carchi García , 2015).

3.5.3.4.3. Red vial

La subcuenca del Machángara cuenta con una red vial constituida por ejes-vías principales, ejes-vías-secundarias y caminos-senderos. Dentro de la subcuenca del Machángara el 53% de la población se movilizan por transporte público y el 47% usan los servicios de las cooperativas de transporte en camionetas (ACOTECNIC CIA LTDA, 2013).

3.5.4. Componentes económicos

3.5.4.1. Actividades productivas de la subcuenca

La principal actividad económica es la agricultura y ganadería, seguida de la construcción e industrias manufactureras incluidas las artesanías. También realizan actividades comunitarias sociales y personales de tipo servicio, realizan el comercio, administración pública y defensa y en pequeñas actividades la explotación de minas y canteras, así como el transporte y almacenamiento (Borrero, 2020).

Capítulo 4: Represas, embalses, importancia y cuidado ambiental

4.1. Las represas y embalses

Las represas se construyen principalmente para la retención de agua, una presa detiene o limita el flujo de agua o arroyos subterráneos haciendo uso de obstrucciones. La primera presa conocida se construyó alrededor de 2950-2750 a. C. en la antigua civilización egipcia. Los arqueólogos han descubierto muchas presas antiguas, cerca de Mesopotamia y Oriente Medio. Se pueden encontrar restos de presas en todos los grandes ríos del mundo como el Tigris y el Éufrates, en Oriente Medio o el Ganges y Sindhu en el valle del Indo o el Yangtze y el río Amarillo en China. Las presas anteriores eran bastante simplistas en cuanto a construcción y operación. A medida que evolucionó la ciencia de la construcción de presas, el tamaño de las presas aumentó y los diseños comenzaron a ser más refinados y complejos (Votruba & Broža, 1989).

La creciente demanda de agua potable y agua industrial para la agricultura, fue la causa inicial de la construcción de embalses para gestionar el suministro de agua naturalmente irregular (DTK Hydronet Solutions, 2019). El beneficio de la construcción de las represas se hace evidente particularmente en áreas áridas o en áreas con distintas estaciones lluviosas y secas, donde el uso de agua no es posible sin un almacenamiento adecuado (Nestmann & Stelzer, 2007). La técnica de construcción de embalses de tierra compactada todavía se aplica en la actualidad. Así, el acceso al agua potable siempre ha sido el factor limitante en el desarrollo de las sociedades y, por lo tanto, ha inspirado a las civilizaciones a alcanzar altos logros técnicos. Una perspectiva para el futuro muestra que un mayor crecimiento de la población y las tendencias climáticas inciertas probablemente requerirán el desarrollo y la protección del agua dulce (Votruba & Broža, 1989).

Los embalses son la segunda fuente más importante de agua superficial después de los ríos. Una función importante de los embalses es el almacenamiento de agua para satisfacer las necesidades de la industria y la agricultura. Más del 50% de todos los embalses en todo el mundo tienen este propósito principal. Aproximadamente del 30 al 40% de las áreas irrigadas en todo el mundo (271 millones de hectáreas) obtienen el agua de los embalses. La extracción total de agua dulce se estima en 3.800 km³/año. La cantidad total se ha duplicado en los últimos 50 años (Nestmann & Stelzer, 2007).

El crecimiento de la población y la expansión de las economías, junto con la disminución de las capas freáticas y la disminución de la calidad del agua superficial, resaltan la importancia del almacenamiento de agua en embalses. La gestión de los recursos hídricos es necesaria cada vez que disminuye el suministro natural de agua.

El área de almacenamiento absorbe grandes volúmenes de agua y los libera de manera retardada. Esta tarea se considera la función principal de los embalses. También durante épocas de inundación, la capacidad de retención de los embalses reduce el riesgo de inundaciones en las áreas aguas abajo, cuando el embalse se gestiona de manera adecuada (Avakyan, 1967).

4.2. Importancia de los embalses

4.2.1. Infraestructura hidráulica muy segura

Las presas y embalses son una infraestructura multifinalitaria segura diseñada y construida con estándares de diseño muy conservadores. Según el Registro Mundial de Represas compilado

por la Comisión Internacional de Grandes Represas (ICOLD), hay alrededor de 60.000 grandes represas en todo el mundo. (Mangney, 2020). Según las estadísticas de accidentes, el número de accidentes de presas ha disminuido más en las últimas décadas y la probabilidad de falla es inferior al 1%. Esto se debe en parte a las mejoras en la tecnología de la construcción, pero sobre todo porque la información sobre presas y embalses se está intercambiando con otros expertos y existen normas de seguridad más estrictas para la etapa constructiva y operativa (GWSP, 2020).

A lo largo de los años, se han mejorado mucho las normas de seguridad aplicadas a proyectos y construcción de presas y embalses, así como el sistema operativo y los controles de obra, y se han consolidado las previsiones para situaciones de emergencia. Igualmente se han creado organismos regulatorios y de fiscalización, existiendo en la actualidad numerosos documentos en la materia (USBR, 1990). La República Argentina cuenta con ORSEP (Organismo Regulador de Seguridad de Presas), que supervisa la seguridad estructural y operativa de la infraestructura estratégica que comprende presas, estructuras complementarias y auxiliares. México posee el Sistema de seguridad de presas CONAGUA que tiene datos de las presas a nivel nacional en permanente verificación y actualización como: ubicación de la estructura, dimensión, estado físico y operativo y uso del agua. Uruguay cuenta con el Comité de Seguridad de Represas para promover investigaciones científicas y técnicas y capacitar a profesionales en buenas prácticas en la ingeniería de represas, así como crear un marco legal con los requisitos que debe cumplir una represa. En Perú existe el comité peruano de grandes presas COPEGP y en Panamá con ASEP que es la autoridad nacional de los servicios públicos encargada de la seguridad de presas.

En cualquier caso, la seguridad de las presas y embalses no depende solo del proyecto y las fases de construcción de la vida de la presa, sino que también requiere un seguimiento e inspección continuos de la infraestructura durante el primer año y su horizonte de diseño. En consecuencia, la seguridad de la presa se puede definir como la gestión y el seguimiento en todas las etapas de su vida. Las normas y cuidados relativos a la seguridad en los estudios, construcción, puesta en servicio hasta el desmantelamiento de embalses y presas cubren necesariamente todas las etapas (Leiva Llerena, 2017).

Las presas de tierra son estructuras muy adecuadas para almacenar grandes volúmenes de agua artificialmente, pues su construcción implica el aprovechamiento de los materiales de la zona. En general, estas edificaciones se dividen de acuerdo a su tipo de sección como: homogéneas, graduadas y de enrocado con corazón impermeable. La elección del tipo depende del equilibrio óptimo entre resistencia e impermeabilidad (Lyapichev, 2017).

En las presas de tierra no es frecuente que exista una falla (sólo el 1,2% llegan a colapsar), pudiendo provocar daños en la estructura de la cortina y también daños económicos directos e indirectos. Esta situación muestra que el estudio y comprensión de las causas de falla es relevante ya que contribuye a la creación de medidas preventivas y de mantenimiento que minimicen el impacto de posibles rupturas (Pérez Pliego, 2009).

La falla de la presa de tierra puede ser causada por una variedad de factores, como lluvias intensas, terremotos, deslizamiento de pendientes y tubificación (un fenómeno que ocurre cuando hay arrastre de las partículas de suelo en el interior de la masa por efecto de las fuerzas erosivas generadas por el flujo de agua), desbordamiento y formación de brechas, suele inundarse aguas abajo de la cortina, provocando las pérdidas mencionadas. De manera similar,

pueden ocurrir fallas durante la construcción, durante la operación o cuando el agua en el vaso se drena rápidamente (Lyapichev, 2017).

Entre los principales factores de riesgo para las presas de riego tenemos las siguientes:

- Sismos y avenidas ocasionados por terremotos o lluvias en exceso;
- Problemas de diseño o construcción como problemas de tubificación;
- Materiales inadecuados;
- Mantenimiento deficiente;
- Inestabilidad de cimentación o base que causé deslizamiento de taludes;
- Filtraciones y subpresiones;
- Fallas en vertederos hidráulicos ocasionando desbordamientos de la presa;
- Operación deficiente, particularmente al hacer un vaciado rápido del agua en el vaso

Las causas más comunes de fallas en las presas están relacionadas con la corona del cuerpo o la cimentación de la presa, fallas en la cimentación y desbordes debido a la erosión interna. Sin embargo, entre ellos destacan las fallas por mantenimiento y operación inadecuados de las presas (Pérez Pliego, 2009).

4.2.1.1. Objetivo de la seguridad de presas

El propósito principal de la seguridad de la presa es proteger a las personas, la propiedad y el medio ambiente de los daños resultantes de una operación incorrecta o el eventual colapso de la construcción. El objetivo antes mencionado se logra manteniendo el reservorio y controlando la salida de agua dentro de los límites establecidos. Asimismo, se deben tomar todas las medidas razonablemente posibles para evitar fallas en el trabajo y tomar medidas en caso de emergencia (ORSEP, 2011).

La seguridad pública y la protección ambiental plantean exigencias cada vez mayores en materia de la administración y la seguridad de estas instalaciones. A fin de dar respuesta a las exigencias planteadas, se requieren Sistemas de Gestión y Seguridad de las presas y embalses, que aseguren la integridad y operación de acuerdo con las mejores prácticas y estándares aceptados internacionalmente (Pérez Pliego, 2009).

4.2.1.2. Sistema de gestión de la seguridad de las presas/normas para la seguridad de presas

La normativa vigente en países como España, Panamá, México establece la necesidad de elaborar un conjunto de documentos que constituyan una herramienta de gestión para el desarrollo y la seguridad de las presas. Esta documentación consta de:

- i) **Clasificación en función del riesgo potencial:** Se ha establecido la necesidad de clasificar las presas según su riesgo potencial de posible falla. Esta clasificación consiste en evaluar los daños resultantes de la eventual falla de la presa, por lo que la presa se puede dividir en tres categorías.
 - **Categoría A:** Se trata de una presa cuya avería o mal funcionamiento, puedan afectar a servicios esenciales o núcleos urbanos, provocar daños materiales o ambientales muy graves.

- **Categoría B:** Se trata de una presa cuya avería o mal funcionamiento puede provocar enormes daños materiales y medioambientales o afectar a un reducido número de viviendas.
 - **Categoría C:** Es una presa donde una falla o mal funcionamiento puede causar daños físicos o ambientales moderados y la muerte accidental. En cualquier caso, esta categoría incluye todas las presas que no están incluidas en las categorías A y B (ASEP, 2010).
- ii) **Normas de explotación de la presa:** Las normas de explotación de presas, de acuerdo con los reglamentos técnicos, deben incluir al menos: Programa normal de reservorios, efluentes y dispositivos de protección. Acciones específicas para rutas. Programa de auscultación, inspección periódica, mantenimiento, sistema de alerta temprana de descarga normal, sistemas de alarma y estrategias a seguir en caso de emergencia (ASEP, 2010).
- iii) **Plan de emergencia de la presa:** Las principales características son: a) Tras el correspondiente análisis de seguridad, se determina una estrategia de intervención y se establece una organización de desarrollo adecuada para controlar situaciones que puedan suponer riesgo de rotura de presa o daños graves. b) Determinar la zona de inundación en la rotura para indicar el tiempo de propagación de la inundación y realizar el análisis de riesgo correspondiente. c) contar con una organización y medios adecuados para obtener y difundir información sobre el incidente, la transmisión de alarmas y, en su caso, el funcionamiento de los sistemas de alarma instalados (Cea Azañedo, Puya Crisóstomo, Picazo, Mancebo, & Sánchez, 2011).
- iv) **Revisiones de seguridad de la presa:** Se debe preparar un documento que describa la necesidad de llevarse a cabo periódicamente y siempre después de una emergencia como una gran carretera o un terremoto, una inspección detallada de la presa para evaluar la situación de seguridad de la presa, las observaciones y las acciones requeridas son las siguientes : Se ha propuesto para mantener el nivel de seguridad de la presa y debe ser presentado a las autoridades correspondientes para la aprobación de la acción propuesta (ASEP, 2010).
- v) **Informes anuales de auscultación:** Informes anuales de revisión de la presa que incluya una introducción, descripción de la presa y embalse, aspectos fundamentales de los datos observados, análisis de la inspección a la presa y embalse y su comportamiento, propuestas de actuación y conclusiones (ASEP, 2010).

4.2.2. La importancia de las presas frente al cambio climático

Cuando el cambio climático es una realidad en esta era, está claro que el tiempo ya no es lo que era, por cualquier causa u otra causa. Esto significa que las estaciones ya no se diferencian, la lluvia no se distribuye como antes y los períodos de sequía parecen durar más. Una de las soluciones es mejorar el efecto de laminación y almacenamiento de la presa (Astorga González, 1994).

Los dos efectos más importantes de las presas son el efecto de laminación y el efecto de almacenamiento.

4.2.2.1.Efecto laminador de las presas

Este es uno de los objetivos por los que se construyeron algunas represas y es muy importante mitigar los impactos del cambio climático. En los últimos años, la precipitación total anual puede ser similar a la del pasado, pero la intensidad y la recurrencia no son muy altas, y las lluvias y tormentas que drenan más agua en menos tiempo se crean con una frecuencia creciente. Un período de ganancias bastante alto.

Estas lluvias pueden tener efectos devastadores ya que destruyen todo y transportan árboles y piedras, provocando graves daños río abajo, especialmente en los cauces más escarpados. Las presas pueden reducir estos efectos, especialmente si se encuentran aguas arriba de ciertas cuencas hidrográficas, ya que pueden reducir la velocidad y la fuerza del agua y reducir o eliminar los daños que ocurren aguas abajo (Sordo Ward, Jiménez Álvarez, Garrote de Marcos, & Carrasco, 2009).

4.2.2.2. Almacenamiento de las presas

Como se señaló en efectos anteriores, es uno de los objetivos de ciertas construcciones de presas y es muy importante mitigar los impactos del cambio climático. Otra consecuencia del cambio climático es que la cantidad total de agua puede ser similar, pero no en intensidad, aumentando notablemente y se pierde mucha, lo que resulta en menos agua disponible durante un año. Porque el suelo no puede penetrar tanto en tan poco tiempo. Una presa puede almacenar una parte del volumen que se perderá y luego regarlo de acuerdo con las necesidades de agua locales (Domínguez Serrano, 2019).

La importancia de estas presas o embalses radica en almacenar el agua que necesita una población en particular, y tiene un gran objetivo a alcanzar en la planificación por parte de las autoridades competentes del país. Otro objetivo muy importante es controlar las inundaciones que pueden ocurrir aguas abajo de estos ríos, afectando a las poblaciones que viven en o cerca de estos ríos (Ramírez Santiago, 2008).

4.2.3. La importancia de las presas para el desarrollo social

La lucha contra el hambre requiere estrategias para desarrollar el crecimiento económico, gestionar los desastres naturales y reconocer la cantidad de nutrientes que consume la población. También es importante centrarse en la tierra, ya que más del 99,7% de los alimentos provienen de la tierra. Las presas y los embalses asociados no solo almacenan agua para su uso posterior y proporcionan energía hidráulica, sino que también brindan un cierto nivel de protección contra las precipitaciones extremas (SPANCOLD CNEGP, 2018).

4.2.3.1. Navegación

La construcción de presas y el drenaje de los arroyos de los ríos aumentarán considerablemente la capacidad de transporte por aguas interiores, lo que permitirá el movimiento suave de un buque de transporte. Un punto importante a tener en cuenta es que una cadena de depósitos de almacenamiento haría avanzar la profundidad de navegación, enderezaría los canales de navegación y apoyaría el paso de barcos pequeños, medianos e incluso grandes. Sin embargo, se recomienda proporcionar vías o esclusas para las embarcaciones cuando las estructuras de la presa se construyen en un gran arroyo de río para facilitar la navegación desde aguas arriba hasta aguas abajo. Además, se debe tener en cuenta la topografía del entorno circundante. Por lo tanto, las vías pueden ser parte integral de la presa o una estructura completamente diferente (Brown, Tullos, Tilt, Magee, & Wolf, 2009).

4.2.3.2.Riego

El 20% de la tierra cultivable total mundial se encuentra bajo diferentes formas de esquemas de riego. Más del 70% del agua dulce extraída de los ríos se utiliza para el riego de cultivos y el 75% del agua total apenas regresa a los ríos. En muchas regiones del mundo, con escasez de agua, la agricultura sin riego no sería posible. La cantidad de agua almacenada en los depósitos de almacenamiento y la potencia necesaria para el bombeo de agua son suministradas por centrales hidroeléctricas, que son parte integral de la estructura hidráulica polivalente. En el mundo actual, los proyectos de riego dependen del suministro de presas y embalses. Para que los planes de riego tengan éxito, el suministro de agua de las fuentes debe estar disponible en forma adecuada siempre que sea necesario y a un costo de inversión razonable. Además, la operación y el mantenimiento de dicha estructura deben ser fluidos y rentables (Subhajt , Bhaskar, & Hazarika, 2013).

4.2.3.3.Abastecimiento de agua municipal e industrial

El procesamiento de alimentos consume diariamente una gran cantidad de agua dulce; así como la extracción y procesamiento de minerales, producciones textiles, de papel y pulpas; plantas de energía nuclear y térmica; e industrias farmacéuticas, petroquímicas y metalúrgicas, entre otras. Sin embargo, algunas de las principales industrias que utilizan un gran volumen de agua son las centrales nucleares y térmicas. Para satisfacer las necesidades domésticas e industriales, debido a la mayor demanda de agua por parte de muchas industrias, especialmente en las naciones industrialmente desarrolladas, siempre se construyen estructuras de almacenamiento de gran capacidad para almacenar la escorrentía de lluvia local y el agua desviada de otras cuencas fluviales. Las represas son el almacenamiento principal y las fuentes de la mayor parte del suministro de agua para fines domésticos. El suministro de agua de proyectos hidráulicos siempre debe cumplir con los estándares de calidad requeridos para usos domésticos e industriales. Además, los métodos de tratamiento del agua deben ser rentables y estar disponibles a diario durante todo el año. Las medidas necesarias de control y protección deben ser provistas en las áreas de la cuenca donde se ubica las represas que son principalmente para el suministro de agua municipal (Tahmiscioglu, Anul, Ekmekci, & Durmus, 2011).

4.2.3.4.Recreación y otros fines

Muchas represas y los embalses sirven también como lugar para actividades turísticas, recreativas y deportivas. De hecho, en algunos países, a veces los embalses se construyen especialmente con fines recreativos. Algunas actividades recreativas llevadas a cabo en los sitios de los embalses pueden incluir natación, pesca, paseos en bote, piragüismo, buceo y caminatas junto al lago. Las actividades recreativas brindan oportunidades de trabajo a la abundante población y generan ingresos para el gobierno y, al mismo tiempo, conservan el medio ambiente natural (Abubakar Tadda, Ahsan, Imteaz, & Shitu, 2019).

4.3.Consideraciones ambientales y sociales en los embalses

La construcción y operación de presas y embalses, así como otra infraestructura crítica, requiere una consideración adecuada de los aspectos ambientales y sociales para asegurar la sostenibilidad del proyecto. Lo que se entiende como apropiado ha sido objeto de un acalorado debate entre los actores sociales involucrados en la planificación y gestión de las represas, lo que ha provocado una respuesta a nivel internacional. Los dos más relevantes son los procesos de la Comisión Mundial de Represas (WCD) y los Proyectos de Desarrollo y Represas del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) (Skinner, Niasse, & Haas, 2009).

Si bien algunas de las ventajas de las represas son obvias y superan las desventajas, investigar, analizar y reconocer el daño que puede causar el trabajo de ingeniería a gran escala es el primer paso para reducir o evitar los impactos negativos. En las últimas dos décadas, ha aumentado la conciencia sobre el daño potencial que puede causar la construcción de grandes presas, y se han tomado medidas para minimizar su impacto negativo, y se ha escuchado y prestado atención a la necesidad de la comunidad afectada.

La actividad humana ha cambiado la superficie de la Tierra desde el principio de los tiempos. Estos cambios son parte del crecimiento de la civilización, pero también son trascendentes para los afectados, como los humanos y el medio ambiente. En cualquier obra de ingeniería civil de gran envergadura es muy importante la realización de un Estudio de Impacto Ambiental (EIA) (Boyé & Vivo, 2016).

4.4.Presas o Represas

Una presa es una estructura creada a través de un río para bloquear, redirigir o ralentizar el flujo de un río. Estas estructuras crean lagos y embalses artificiales. Normalmente, las presas están provistas de vertederos para descargar o desbordar el agua. Las presas, si se diseñan correctamente, son de gran ayuda porque hacen que el agua esté disponible cuando no estaría disponible sin ella. Esto aumenta los recursos hídricos renovables disponibles. Esto es de gran ayuda, ya que proporciona el agua que necesita durante estas sequías. Las presas tienen una ventaja porque son las más necesarias todos los días en una variedad de actividades (Lakshmi, 2019).

Tipos de presas: Existen presas de materiales compactados o presas de hormigón

4.4.1. Presas de materiales compactados

Son presas de gravedad en las que los materiales proporcionados por la naturaleza se procesan y despliegan mediante procedimientos de compactación típicos de la mecánica del suelo, sin someterse a procesos de transformación química. Su composición incluye piedras, grava, arena, limo y arcilla, y cuando más del 50% del material consiste en presas de piedra y tierra con medidas de tamaño de partícula más pequeñas. (Bustamante Fernández, 2008). Se pueden construir presas de tierra simples donde haya una base impermeable, como roca sin fisuras o un subsuelo arcilloso (Ilustración 4.1) (Lejeune & Hui, 2020).

Ilustración 4.1. Presa de material compactado.



Fuente: Lejeune & Hui (2020).

4.4.2. Presas de hormigón

Las presas de hormigón son construidas y diseñadas con el propósito de contener el agua, que generalmente se coloca a través del camino de un río (Ilustración 4.2). Una presa de hormigón es el tipo de presa más fuerte construida en los tiempos modernos y puede adoptar varias formas. El hormigón en sí es un material de construcción hecho de agua, cemento, arena y grava o áridos. En los tiempos modernos, casi todas las presas están hechas total o parcialmente de hormigón (Royet, 2002).

Ilustración 4.2. Presa de Hormigón.



Fuente: Royet (2002).

4.5. Embalses

Los embalses se forman como resultado de la construcción de presas que bloquean los cursos de agua de los ríos y almacenan cierta cantidad de agua para satisfacer la demanda de este

recurso. Los embalses generalmente se encuentran en áreas de escasez o exceso de agua, o donde existen razones agrícolas o tecnológicas para tener una instalación de agua controlada. Cuando el agua es escasa, por ejemplo, los embalses se utilizan principalmente para conservar el agua disponible para su uso durante los períodos en los que más se necesita para el riego o el suministro de agua potable (Thornton, Steel, & Rast, 1996).

4.5.1. Zonas de un embalse

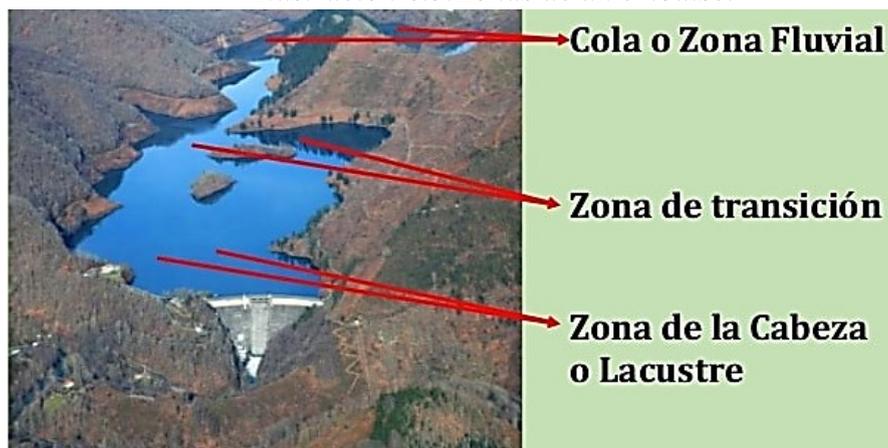
Un embalse tiene una zonificación horizontal y se divide en tres zonas (Ilustración 4.3), que son:

a) Zona ribereña o cola del embalse: El área contiene restos vegetales intercalados con capas sedimentarias elásticas de sedimentos o rocas formadas por detritos existentes. En él, el flujo disminuye rápidamente, provocando la sedimentación de partículas gruesas de arena y limo y parte de la materia orgánica particulada. Aunque la respiración puede ser alta, la cola del embalse es generalmente poco profunda y bien mezclada y, en consecuencia, aeróbica. En esta región, la fotosíntesis debe ser baja ya que la velocidad del río y la turbulencia disminuyen, las algas no flotan por mucho tiempo y la alta turbidez minimiza la transmisión de luz. (Comas Navarro & Espino Ventura, 2018).

b) Zona de transición o zona media del embalse: Es un área donde predomina la anoxia (privada o reducida de O₂) debido al tratamiento biológico de materia orgánica particulada microscópica que puede agotar rápidamente el oxígeno hipolimnético (temperatura esencialmente uniforme). Estas condiciones: aceleran la desnitrificación y solubilización del fósforo, manganeso y hierro absorbidos en el material particulado sedimentado y liberan H₂S. Una de las principales características de la zona de transición es su dinámica (Córdova, 2015).

c) Zona lacustre o zona de presa: Es el más profundo de los embalses con características de lago. Predomina el plancton, se reduce la precipitación de sustancias inorgánicas y la penetración de luz es suficiente para promover la producción primaria. Existe un límite potencial de nutrientes en esta zona y la producción de materia orgánica excede el rendimiento dentro de la zona de mezcla (Diaz Diaz, Bustamante Delgado, Blanco Cabrera, & Livaque, 2016).

Ilustración 4.3. Zonas de un embalse.



Fuente: Diaz Diaz et al. (2016).

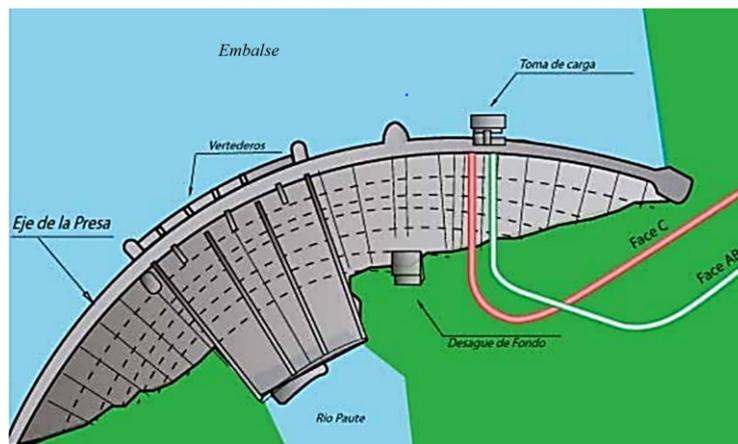
4.5.2. Estructuras que conforman los embalses

La estructura de una presa y embalse se puede dividir en tres partes que son: estructura de retención de agua, liberación de agua y la estructura de transporte de agua.

4.5.2.1. Estructura de retención de agua

La estructura de retención de agua es la estructura amurallada de la presa, que resiste el agua y permite que una cantidad controlada fluya aguas abajo. El lado del muro o vertedero que mira hacia la corriente se llama cara de la presa (Ilustración 4.4). La superficie plana superior de la presa se llama eje de la presa, el cual es un camino que cruza la presa. El eje de la presa se construye en la parte superior del aliviadero, esto incluye la longitud total del dique y es la sección de desbordamiento de la presa (Mehmetaj, 2015).

Ilustración 4.4. Estructura de un embalse.



Fuente: Sandoval Erazo (2018).

4.5.2.2. Estructura de liberación de agua

La estructura de liberación de agua es la parte de la presa que permite que el agua se libere corriente abajo. El mecanismo del aliviadero es permitir la cantidad de agua controlada. Un aliviadero tiene los siguientes elementos: canal de entrada, vertedero controlado, canal de conducción y canal de salida. (Mehmetaj, 2015).

4.5.2.3. Estructura de transporte de agua

Los conductos son las partes del trabajo exterior de las presas. La función de los conductos es transportar el agua de los depósitos a través, alrededor o debajo de una presa de terraplén. Muchas presas tienen conductos que sirven como aliviadero (Chala, 2019).

4.5.3. Ventajas de los embalses

1. Las represas nos proporcionan una fuente de energía limpia.

La hidroelectricidad es responsable del 19% del suministro energético mundial, ofreciendo más de 3000 tera vatios cada año. Podemos producir energía de las presas debido a la energía cinética de los movimientos del agua cuando hace girar las turbinas. Eso es lo que nos permite generar electricidad limpia y renovable. Una vez que la presa esté completamente construida, ya no dependemos de los combustibles fósiles para ser responsables de la energía que necesitamos para mantener un estilo de vida moderno (Boyé & Vivo, 2016).

2. Las presas nos ayudan a retener nuestro suministro de agua.

Cuando aprovechamos la oportunidad para construir una represa en un río, el agua se acumula para formar un depósito detrás de la estructura. Este resultado permite que los centros de población de esa región recolecten agua dulce durante los períodos de fuertes precipitaciones para su uso durante un período de sequía. También usamos esta maravilla de la ingeniería para controlar las inundaciones o para suministrar una cantidad fija de fluido a las áreas circundantes para el riego agrícola. Eso significa que una presa puede proporcionar un amortiguador a toda una región contra eventos climáticos extremos o patrones de precipitación irregulares (Tahmiscioglu, Anul, Ekmekci, & Durmus, 2011).

3. Esta tecnología nos brinda oportunidades recreativas críticas.

Las represas pueden brindarnos una amplia gama de beneficios económicos, ambientales y sociales. Numerosos embalses en Estados Unidos, Colombia, México, Argentina ofrecen oportunidades para acampar, pasear en bote y practicar esquí acuático. Brinda a las regiones que generalmente no tendrían acceso al agua un lugar para tener un bote que apoye las actividades de pesca comercial. Estos destinos pueden ser el lugar perfecto para hacer un picnic, hacer senderismo y pasar tiempo con su familia (Brown, Tullos, Tilt, Magee, & Wolf, 2009).

4. Una presa bien construida proporciona un control de inundaciones.

Las presas ayudan a prevenir la pérdida de propiedad al tiempo que reducen el riesgo para la vida humana de las inundaciones anuales. Estas estructuras pueden incautar las aguas de la inundación en el embalse detrás de la presa, lo que nos permite liberarlas bajo control o almacenarlas para uso futuro (Skinner, Niasse, & Haas, 2009).

5. Las represas nos brindan una forma de regar las tierras de cultivo que pueden no recibir suficiente humedad.

Decenas de miles de puestos de trabajo están directamente relacionados con la producción de cultivos y otras actividades agrícolas que se producen debido a este beneficio.

6. Los embalses pueden servir como fuente de agua potable.

Debido a que el agua almacenada detrás de una presa en un embalse es fresca, podemos usarla como fuente de agua potable para pueblos y ciudades cercanos (Tahmiscioglu, Anul, Ekmekci, & Durmus, 2011).

4.5.4. Desventajas de los embalses

1. Los embalses logran producir mayores emisiones de gases de efecto invernadero.

Cuando la vegetación se sumerge en agua, las plantas eventualmente morirán. Cuando ocurre este resultado, el material orgánico muerto libera metano que finalmente llega a la atmósfera. El aumento en la producción de gases de efecto invernadero es significativo porque el metano es 34 veces más potente como reflector que el dióxido de carbono.

2. Esta tecnología altera los ecosistemas locales.

Las presas crean un problema de inundaciones detrás de la estructura como una forma de formar un embalse. Esto no solo interrumpe las actividades humanas, sino que también destruye los

hábitats de vida silvestre existentes. Este problema puede alterar ecosistemas enteros, lo que puede tener un efecto adverso en todo un bioma regional (Wang, Du, & Chen, 2012).

3. Las presas pueden tener un impacto adverso en el nivel freático.

Cuando los lechos de los ríos se profundizan, este problema crea un nivel freático más bajo a lo largo del río. Eso significa que es más difícil para las raíces de las plantas alcanzar lo que se requiere para sobrevivir. Este problema puede incluso cambiar el contenido mineral y las sales que se encuentran en el fluido, creando daños a las estructuras del suelo en el camino.

4. El mantenimiento de los embalses puede resultar complicado.

Cuando la sequía es un problema importante para una comunidad, entonces un embalse detrás de una presa puede ser un recurso vital. El mantenimiento de esta nueva masa de agua conlleva una serie de desafíos propios porque la evaporación puede ocurrir durante los tiempos de sequía y resultar en un aumento de los problemas ambientales. También tiende a haber una acumulación significativa de materia orgánica en el sedimento con esta desventaja, lo que resulta en trihalometanos potencialmente cancerígenos cuando el agua se clora para beber (McCartney, 2009).

5. Efecto ambiental de los embalses

A medida que la construcción de represas continúa expandiéndose rápidamente en todo el mundo, es necesario evaluar y mitigar las ramificaciones sociales, económicas y ecológicas de la incautación de aguas que fluyen naturalmente. A nivel mundial, más de 3.700 grandes represas en el año 2015 se encontraban en las etapas de planificación o construcción, proveyéndose la reducirán del número de ríos de flujo libre en la tierra en un 21%. La mayoría de los proyectos hidroeléctricos planificados se encuentran en países en desarrollo. Aproximadamente el 40% de toda el agua descargada por los ríos en todo el mundo es interceptada por represas, que retienen el 25% del flujo de sedimentos de las riberas de los ríos a los océanos (Córdova, 2015).

Los impactos negativos son causados por cambios en el sistema de flujo hidráulico, en la geometría del canal y especialmente en el intercambio de nutrientes y energía entre los ecosistemas terrestres y acuáticos. Estos cambios ocurren antes, durante y después de la fase de llenado del depósito. Las consecuencias más significativas son la pérdida de conexiones entre hábitats equilibrados e interdependientes, cambios en las estructuras tróficas y respuestas impredecibles de los hábitats alterados ambientalmente. La calidad del agua generalmente se ve más afectada durante los primeros períodos de operación de la presa, que no están bien estudiados. En la mayoría de los casos, se cree que el daño causado a los ecosistemas por las operaciones de represas es irreversible (Córdova, 2015).

4.5.5. Características físicas de lagos y embalses

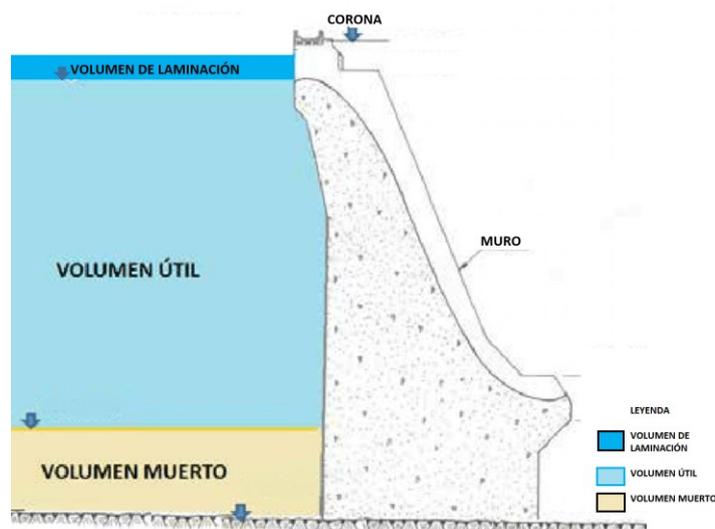
- Los parámetros físicos que afectan el funcionamiento de una masa de agua son: volumen, profundidad, y superficie de los embalses. La combinación de estos parámetros es muy importante en la cantidad de agua que es alcanzada por la radiación solar.

- La profundidad promedio (volumen total / superficie total), así los lagos profundos (o embalses) generalmente se considera que tienen una profundidad promedio de > 5 metros.
- El comportamiento de los cuerpos de agua profundos se caracteriza por fenómenos que ocurren a lo largo de la columna de agua.
- La estratificación de los cuerpos de agua no permite la mezcla de las capas superior e inferior, ocurren procesos completamente diferentes en cada subcapa, la materia orgánica se acumula y todo el oxígeno disuelto se puede consumir (Sánchez Ramos, 2018).

4.5.6. Volúmenes característicos de un embalse

Los volúmenes característicos de los embalses están asociados a los niveles, de esta forma se tiene (Ilustración 4.5):

Ilustración 4.5. Niveles de volúmenes característicos de un embalse.



Fuente: Sandoval Erazo (2018).

- Volumen muerto: Está por debajo del nivel de agua muerta del reservorio y es donde el sedimento se acumula durante la vida del reservorio. Para contener sedimentos en el embalse, es necesario superar la capacidad del sedimento calculada para su vida útil. Esa decisión es muy complicada, sobre todo si el embalse es polivalente (cuando es necesario tener en cuenta la carga de agua de la turbina, las condiciones de navegación río arriba, la altura de mando sobre regadío)
- Volumen útil: Capacidad de almacenamiento ubicada entre el nivel de agua mínimo y normal del depósito.
- Volumen de laminación: Como sugiere el nombre, es el volumen que se utiliza para reducir el flujo de salida a la carretera y limitar los daños aguas abajo (Ortiz Moya, 2015)

4.5.7. Clasificación de embalses por tamaño

El volumen almacenado depende de la altura de la presa y de la forma geométrica definida por la topografía del área inundada, también conocida como "cuenca" (Zhelezniakov, 1984). La mayoría de las normas de seguridad indican volúmenes superiores a 100.000 m³. La Tabla 4.1 propuesta por Zhelezniakov (1984) muestra la clasificación por volumen y área de la superficie de inundación. Cada país clasifica sus reservorios de acuerdo con su propia realidad. La clasificación de estas operaciones puede ser temporal, ya que países de todo el mundo continúan construyendo presas y embalses (Sandoval Erazo, 2018).

Tabla 4.1. Clasificación de los embalses según su tamaño.

CATEGORIA	VOLUMEN (hm³)	ÁREA (km²)
Micro	<1	<1
Mini	1 a 10	1 a 2
Pequeño	10 a 100	2 a 20
Mediano	100 a 1000	20 a 100
Grande	1000 a 10000	100 a 500
Muy grande	10000 a 50000	500 a 5000
Mega	>50000	>5000

Fuente: Zhelezniakov (1984).

4.5.8. Embalses del mundo

Las presas y los embalses, en la actualidad hay 60.000 grandes represas en todo el mundo, con más de 3.700 planificadas o en construcción, aunque esta última cifra puede ser mucho mayor (GWSP, 2020). En la tabla 4.2 se muestran una parte de la clasificación de las presas más grande del mundo.

Tabla 4.2. Clasificación de los embalses más representativos del mundo respecto al volumen.

NOMBRE	PAÍS	VOLUMEN (hm³)	ÁREA (Km²)	CLASIFICACIÓN
Bratsk	Rusia	169.270	5.47	Mega
Guri	Venezuela	135.000	4.25	Mega
Krasnoyarsk	Rusia	73.300	2.13	Muy grande
Yacyretá	Paraguay-Argentina	62.000	1.6	Muy grande
Robert-Bourassa	Canadá	61.700	320	Muy grande
Ust-Ilimsk	Rusia	59.400	1.873	Muy grande
Tucuruí	Brasil	45.536	3.014	Muy grande
Las Tres Gargantas	China	39.300	1.045	Muy grande
Sayano-Shúshenskaya	Rusia	31.340	621	Muy grande

<i>Itaipú</i>	Brasil-Paraguay	29.000	1.35	Muy grande
<i>Nuozhadu</i>	China	21.749	320	Muy grande
<i>Xiaowan</i>	China	9.890	190	Grande
<i>Xiangjiaba</i>	China	5.163	95.6	Grande
<i>Churchill Falls</i>	Canadá	2.200	6.988	Grande
<i>Jirau</i>	Brasil	2.000	258	Grande

Fuente: Ortúzar et al. (2016).

4.5.9. Volumen de los embalses en Ecuador

En el Ecuador, el embalse más grande por volumen y área es el Daule-Peripa, cuyas características técnicas se detallan al final de este capítulo. En la tabla 4.3 constan los embalses más representativos del Ecuador.

Tabla 4.3. Clasificación de los embalses del Ecuador.

EMBALSE	VOLUMEN (hm³)	CLASIFICACIÓN
<i>DAULE PERIPA</i>	6000	Grande
<i>LA ESPERANZA</i>	450	Mediano
<i>MAZAR</i>	410	Mediano
<i>CHANGON</i>	280	Mediano
<i>TAHUIN</i>	250	Mediano
<i>PAUTE</i>	120	Mediano
<i>PISAYAMBO</i>	100.7	Mediano
<i>POZO HONDA</i>	100	Mediano
<i>BABA</i>	93	Pequeño
<i>MICA</i>	50	Pequeño
<i>CHANLUD</i>	17	Pequeño
<i>SALVE FACCHA</i>	10.5	Pequeño
<i>MANDURIACU</i>	10	Pequeño
<i>LABRADO</i>	6	Mini
<i>AZUCAR</i>	5	Mini
<i>AGOYAN</i>	0.75	Micro

Fuente: Sandoval Erazo (2018).

4.5.10. Volumen de las lagunas del Parque Nacional el Cajas

El Parque Nacional Cajas es un sistema montañoso formado por los tramos superiores de las cuencas fluviales (sistema de distribución geográfica del agua) de los ríos Balao y Cañar, afluentes del Océano Pacífico y el río Paute afluente del océano Atlántico. Esta cabecera, la División Continental, está ubicada en el punto más occidental de los Andes a lo largo de las Américas y se origina en el área de Tres Cruces a 4.167 m.s.n.m.

El PNC posee 768 cuerpos de agua de las cuales, la laguna más grande es el Luspa, debido a que posee un área de 77 ha y una profundidad de 68 m. En el PNC tiene lagos de todo tipo como circulares y paternóster, que son cuerpo de agua dividido por franja de tierra de origen glaciar, lagos Hiperoligotróficas (altísima transparencia y escasa producción orgánica), Oligotróficas (de alta transparencia y baja producción orgánica), Mesotróficas (poca transparencia y producción media de materia orgánica) y Eutróficas (baja transparencia y excesiva producción de materia orgánica) (ETAPA EP, 2018). En la tabla 4.4 se muestra el área y perímetro que poseen las lagunas de PNC.

Tabla 4.4. Lagunas del Parque Nacional Cajas.

NOMBRE	ÁREA (hectárea)	PERÍMETRO (km)
<i>Luspa</i>	77.76	4.94
<i>Osohauycu</i>	65.86	7.33
<i>Mamamag o Taitachugo</i>	56.34	5.25
<i>Lagartococha</i>	46.40	3.45
<i>Sunincocha</i>	39.89	4.55
<i>Ventanas</i>	33.86	2.86
<i>Larga</i>	23.39	2.98
<i>Angas</i>	21.56	2.38
<i>Hunanchi</i>	19.47	1.96
<i>Toreadora</i>	19.33	3.00

Fuente: ETAPA EP (2018).

4.5.11. Características limnológicas de los embalses

El embalse es un centro de recolección de eventos, un híbrido entre un río (sistema lótico) y un lago (sistema léntico). Los embalses se consideran concentradores y digestores de contaminantes químicos de la cuenca, y archivos de información sobre desarrollos económicos y cambios ecológicos que han ocurrido en el embalse, entonces es un sistema abierto que integra toda la cuenca. Por lo tanto, las cuencas afectan a los cuerpos de agua y viceversa (Fuertes Calva, 2013). Las características de las presas o embalses varían por: las condiciones climáticas y el uso y manejo de la tierra, así como el área geográfica. Debe recordarse que los embalses son ecosistemas creados por el hombre y pierden su vida muchas veces antes de alcanzar la estabilidad ecológica. Los embalses suelen sufrir una serie de cambios físicos y químicos en las primeras etapas de operación, que afectan el establecimiento de una flora y fauna estable y un uso óptimo de las centrales eléctricas (Prats, Morales Baquero, Dolz, & Armengol, 2014).

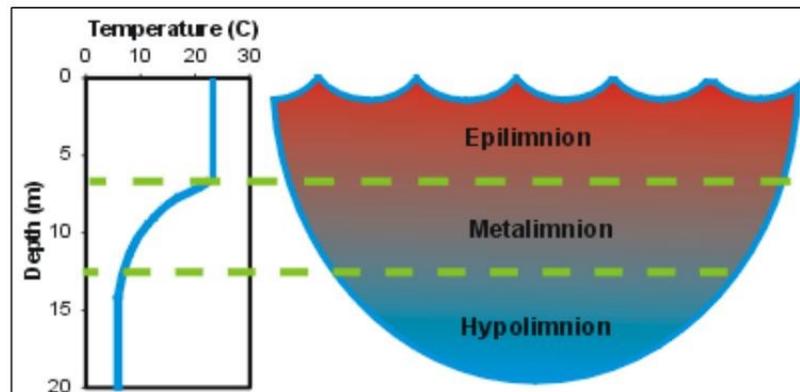
4.6. Estratificación térmica de un ecosistema acuático

En embalses y lagos profundos y grandes, la estratificación del agua ocurre en la estación cálida (estrato o disposición de estratos, uno encima del otro en orden vertical). En la ilustración 4.6 podemos encontrar tres regiones con características bien diferenciadas dadas por Barbosa Casas (2013), cuyas condiciones, composición y ubicación de cada zona varían según la temporada.

- El epilimnion: es el área de la superficie de un reservorio que es rico en oxígeno y tiene la temperatura más alta.

- El metalimnion o termoclina: esta es la zona intermedia que separa la superficie del suelo. Se caracteriza por una disminución exponencial y continua de la temperatura hasta alcanzar el hipolimnion.
- El hypolimnion: es la zona profunda de temperatura más fría, próxima a los 4°C. Sus aguas prácticamente están a la misma temperatura todo el año (Barbosa Casas, 2013).

Ilustración 4.6. Estratificación de embalses.



Fuente: Romero Gil (2015).

4.7. Principales problemáticas en la gestión ambiental

Esta sección presenta los principales problemas ambientales de la gestión de reservorios (por ejemplo, regímenes de flujo cambiantes, eutrofización, interrupción del movimiento de sedimentos e introducción de especies exóticas) (Romero Gil, 2015). Además, existe un interés creciente en cambiar los regímenes térmicos, especialmente con respecto a los impactos del cambio climático. Finalmente, la planificación del desarrollo de los recursos hídricos plantea desafíos debido a los impactos del cambio climático global y la incertidumbre sobre la evolución futura del consumo y el uso de la tierra (Córdova, 2015).

4.7.1. Consecuencias ambientales por la regulación del caudal

En general, los embalses reducen el tamaño de las vías fluviales aguas abajo de las represas, lo que ralentiza el asentamiento de la vegetación ribereña, reduce el hábitat de la llanura aluvial disponible para los peces o reduce el tamaño de las vías fluviales disponibles para los macrófitos. Esta reducción en el flujo también puede aumentar la deposición de material microscópico, obstruyendo el área de algunas especies de salmónidos y afectando a los macroinvertebrados acuáticos típicos en el lecho de grava.

Dependiendo del propósito principal del reservorio, puede tener otros efectos importantes. Por lo tanto, los embalses de riego pueden reducir la tasa de flujo anual promedio debido en parte al consumo de agua por la agricultura y la evaporación del embalse. También modifica la productividad de las cadenas tróficas y los ecosistemas fluviales al generar patrones de flujo transitorio en oposición a los patrones de flujo natural con flujo alto en verano y flujo bajo en invierno. Cuanto mayor sea la intensidad del cambio, mayor será el impacto en el número de especies, los hábitats y la calidad de los bosques ribereños.

4.7.2. Eutrofización

La eutrofización de los ecosistemas acuáticos se produce por exceso de nutrientes y se refleja en la sobreproducción de fitoplancton. Durante la estratificación térmica, el exceso de biomasa producida en las zonas mineral y aeróbica se deposita en el fondo y es mineralizado por organismos que usan oxígeno en el agua desnitrificada anaeróbica. La alta producción primaria en la superficie consume todo el oxígeno disponible en la profundidad del lago o embalse, lo que provoca síntomas anaeróbicos. Las condiciones anaeróbicas pueden tener un efecto negativo al alterar la dinámica del fósforo, el nitrógeno y los metales pesados en la interfaz agua-sedimento y pueden corroer las estructuras, ya que pueden corroer el hierro y el cemento. Otro problema es la aparición de olores y sabores desagradables. Hay dos causas principales de eutrofización en los embalses. El aporte de nutrientes de la captación y / o materia orgánica durante el llenado inicial de la captación (Zouiten , 2012).

4.7.3. Efectos ambientales por colmatación de un embalse

El transporte de sedimentos es una de las características ambientales de mayor interés para los ingenieros hidráulicos, porque el transporte de sedimentos puede reducir significativamente la capacidad de un reservorio a lo largo de los años, y la retención de sedimentos en un reservorio puede causar problemas de estabilidad para las estructuras hidráulicas ubicadas aguas abajo. Desde el punto de vista de un ecologista, la retención de sedimentos también incluye la modificación del movimiento de nutrientes y materia orgánica. Los embalses contienen una parte significativa del sedimento transportado por los ríos. El sedimento está relacionado con el tiempo de residencia del agua en un embalse, la velocidad del agua, las inundaciones y el uso de tomas de fondo para la extracción de agua. Por tanto, las presas representan una barrera al movimiento de los sedimentos del fondo que solo se reactivan en caso de inundación o cuando se utiliza la toma de fondo de un embalse. La calidad de los sólidos en suspensión también se ve modificada por la presencia de depósitos (Córdova, 2015).

4.7.4. Introducción de especies exóticas y especies invasoras

La construcción de embalses proporcionó nuevos hábitats sin una estructura ecológica integrada, lo que facilita la colonización de nuevas especies. Además, los seres humanos han introducido especies, voluntaria o involuntariamente, que tienen un impacto dramático en los ecosistemas de estos ecosistemas. Otras consecuencias de la introducción van desde la extinción de especies nativas hasta la hibridación y la aparición de enfermedades. Sin saberlo, los seres humanos también pueden causar daños graves al introducir especies animales inferiores como los invertebrados. El exterminio de estas especies invasoras es mucho más complejo (Prats, Morales Baquero, Dolz, & Armengol, 2014).

4.7.5. Modificación del régimen térmico fluvial

El efecto térmico de un embalse depende de varios factores, como el tamaño, el comportamiento térmico o la profundidad de la cuenca. Los tanques de succión poco profundos aumentan la temperatura aguas abajo. Para los embalses que absorben aguas profundas, los efectos térmicos varían con la época del año y están directamente relacionados con los procesos de estratificación y mezcla. Se pueden alcanzar temperaturas más altas en cualquier momento del día, lo que puede no ser adecuado para peces en los puntos de rango más altos de la temperatura diaria. La distancia requerida para la recuperación del ciclo de calor diario depende de la velocidad, el caudal, el ancho del río y el proceso de intercambio de calor con la atmósfera. Además, en

algunos casos, los cambios rápidos de flujo pueden provocar cambios térmicos rápidos que pueden afectar a las poblaciones de macroinvertebrados (Córdova, 2015).

4.7.6. Efectos del cambio climático

La reducción del caudal debido al cambio climático, el aumento del consumo o los cambios en el uso de la tierra resulta en una reducción de la calidad del agua del río y de la calidad del agua en los embalses, poniendo en peligro el suministro de agua potable. En cuanto al comportamiento térmico e hidrodinámico de los embalses, se espera un aumento de la temperatura superficial, calentamiento a principios de primavera, mayor período de estratificación y mayor estabilidad en verano. Estos cambios afectan la unión de las cadenas tróficas, alterando así el movimiento de los elementos desde sus formas mineralizadas hasta los niveles más altos de la cadena animal. Sin embargo, estas proyecciones presentan una serie de incertidumbres como desconocimiento de la evolución futura de las emisiones de gases de efecto invernadero, uso del suelo, consumo.; incertidumbres asociadas a los modelos climáticos, hidrológicos y de calidad del agua utilizados. El hallazgo es reconfortante al descubrir que los impactos humanos en la hidrología de los ríos, por un lado, están en la misma medida que los impactos estimados del cambio climático. Esto significa que existe una posibilidad real de tomar medidas de adaptación para contrarrestar la reducción del flujo (Brown, Tullos, Tilt, Magee, & Wolf, 2009).

4.7.7. Efectos ambientales en las diferentes fases del proyecto

La creación de embalses es quizás la operación pública más singular, generalmente con algún impacto ambiental y mayor que cualquier otra. Estos eventos pueden ser positivos, negativos o mixtos. Los primeros son el abastecimiento humano y doméstico, la integración del agua en los procesos energéticos, su uso en ciclos industriales y el uso de embalses con fines recreativos. Los impactos negativos incluyen inundaciones en grandes áreas que pueden tener un valor ambiental significativo. Pero, sin duda, el impacto negativo más significativo es el derivado de la rotura de la presa, que podría derivar en catástrofes de carácter humano, ambiental y económico mucho mayores que las derivadas del resto de obra realizada. Entre los tipos de efectos mixtos se encuentran los que afectan al cuerpo de un río. Si bien este comportamiento es claramente positivo en lo que respecta a la laminación de inundaciones, puede ser negativo cuando los cambios en el caudal aguas abajo se desvían del caudal ideal para preservar el equilibrio biológico y morfológico del río (Ollero Ojeda, 1995).

El impacto del embalse debe analizarse teniendo en cuenta la respuesta del ecosistema durante la fase de construcción del proyecto y la operación del embalse. Aquí hay una lista de posibles impactos ambientales en diferentes etapas del proyecto:

4.7.7.1. Fase de construcción del embalse

Según URS (2006) los principales impactos en la fase constructiva son los siguientes:

- Tratamiento de sedimentos de obras de construcción en ríos naturales.
- Contaminación del aire por plaguicidas.
- Aumento del ruido debido al uso de maquinaria y diversas tareas requeridas para los trabajos de construcción.
- Cambios en la forma de las vías fluviales, redes de drenaje y paisajismo.

- Cambios de flora y fauna por desvíos de ríos.
- Cambios en las condiciones de vida humanas debido al uso de servicios públicos y presiones generalmente establecidas tradicionalmente sobre la población.

4.7.7.2.Fase de operación del embalse

➤ **En la zona inundada**

Según INP (2013), los principales impactos en la zona inundada son los siguientes:

- Pérdida de recursos del suelo cuando se inundan las cuencas fluviales.
- Impactos en el uso de la tierra por inundaciones de la tierra, que a veces requieren cambios en las prácticas tradicionales.
- Generar basura al reservorio para actividades recreativas.
- Contaminación del aire por tráfico inducido.
- Descomposición orgánica del almacenamiento.
- Eutrofización: falta de oxígeno disuelto.
- Cambio ambiental de río a lago y potencial para la reducción de la diversidad de especies.
- El asentamiento en depósitos puede reducir el volumen útil y evitar la entrada y descarga de agua.
- El paisaje cambia como consecuencia de la desaparición de algunos elementos característicos o de las correcciones realizadas por la introducción de obras ajenas al entorno.
- Inestabilidad de taludes debido al oleaje y fluctuaciones del nivel del agua. La descarga repentina constituye la situación de mayor riesgo, no solo para la estabilidad del talud del embalse, sino también para la estabilidad de la presa, especialmente si está hecha de material suelto.
- Cambios en el nivel freático.
- Cambios en la flora y fauna por cambios en su hábitat natural. Erosión de las laderas de los embalses por acción del oleaje.
- Evaporación del reservorio y aumento de la humedad atmosférica.
- Efectos de contracorriente que provoquen, por ejemplo, el asentamiento de afluentes.
- Estratificación de las temperaturas del yacimiento que provocan cambios en la calidad del agua. Estos cambios son difíciles de predecir y dependen de la geometría de la cuenca, el flujo de agua en el depósito, la velocidad del viento y la insolación. Quizás el mayor efecto de la estratificación térmica es inhibir la transferencia entre el epilimnion rico en oxígeno y el hipolimnion empobrecido en oxígeno debido a la oxidación de residuos orgánicos.

➤ **En la zona aguas abajo**

De acuerdo con URS (2006), los principales impactos en la zona aguas debajo de los embalses son los siguientes:

- Erosión del lecho del río por retención de sedimentos aguas arriba.
- La fertilidad del suelo se reduce a medida que se priva de la contribución del suelo.
- Impactos de la biota por cambios en la calidad del agua.
- Zona de mantenimiento y estacionamiento de maquinaria pesada. Esta zona es muy importante porque, si no se toman las debidas precauciones, se pueden producir derrames de lubricante que pueden contaminar el suelo. Los depósitos de aceite no deben dejarse en áreas que se van a inundar, ya que pueden contaminar la superficie del agua.
- Capaz de eliminar nutrientes que afecten al ecosistema agrícola.
- Efectos de los cambios en la temperatura del agua en peces, cultivos, etc.
- El agua se descarga a una temperatura no adecuada para uso aguas abajo.
- Aumenta el control de inundaciones y el potencial de riego, lo que tiene un impacto favorable en el uso del suelo.
- Control de la contaminación ajustando el caudal cuando el agua está baja.
- Construcción y campamentos habitacionales para trabajadores. Dado que las represas generalmente se construyen muy lejos, el movimiento diario de trabajadores puede ser problemático, lo que puede alentar a los constructores de represas a construir aldeas alrededor de su trabajo. Dado que los trabajadores pueden llegar a cientos de personas, es necesario planificar adecuadamente campamentos temporales con una vida útil de 5 a 6 años, teniendo en cuenta todos los servicios básicos. El análisis de las medidas de mitigación de estos impactos requiere un estudio detallado de los impactos ambientales del campamento.
- Uno de los efectos de los embalses en ambas áreas es que pueden alterar la actividad tectónica. La probabilidad de actividad sísmica es difícil de predecir. Sin embargo, se debe considerar todo el potencial destructivo de los terremotos que pueden causar deslizamientos de tierra, daños a la infraestructura de la presa y posibles fallas de la presa.

4.7.7.3.Fase de mantenimiento

De acuerdo con el INP (2013), los principales impactos en la fase de mantenimiento son los siguientes:

- Derrames de aceite y grasa que pueden contaminar la calidad del agua (generalmente limpiar y reemplazar la grasa de las válvulas, desmontar y limpiar las bombas, verificar el libre movimiento de todos los mecanismos de operación de la compuerta y lubricar todas las piezas, incluida la grasa)
- Exposición al ruido.
- Fatiga visual, caídas leves y / o lesiones derivadas de caídas importantes.
- Exposición a la humedad y estrés por calor.

La matriz de impacto de la comisión de presas grandes del Perú utiliza como guía para identificar los impactos ambientales que surgen de los embalses.

4.8. Medidas De Mitigación

4.8.1. Medidas para la protección de un embalse

Tahamiscioglu, Anul, Ekmekci, & Durmus (2011) recomienda considerar lo siguiente para proteger un embalse:

- Labrar pendientes en franjas o terrazas para retrasar la escorrentía y reducir la contribución de sedimentos a los embalses y reducir la erosión en las cuencas hidrográficas
- Construir pequeñas presas de almacenamiento en la pendiente.
- Coloque una cubierta verde en el terreno para disminuir el impacto de la lluvia.
- Crear una trampa de sedimentos en el afluente del embalse.
- Libre el nivel del agua para airear naturalmente el depósito y, en última instancia, use aireación artificial como la inyección de oxígeno.
- Controle el nivel del agua para la navegación y la recreación.

4.9. La contribución de la limnología a la gestión de embalses

Los embalses son sistemas creados por el hombre, pero son colonizados por microorganismos, plantas y animales, pero para gestionarlos adecuadamente, necesitan ir más allá de la cantidad de agua que almacena. La calidad del agua de los embalses está expuesta a procesos físicos, químicos y biológicos que son muy similares, pero no exactamente iguales, a los que ocurren en los lagos naturales. Así, la limnología, que puede definirse como la parte de la ecología que se ocupa del estudio de las masas de agua continentales, despierta un gran interés en la gestión de embalses (Schmutz & Moog, 2018).

4.9.1. Desestratificación artificial

La calidad del agua puede deteriorarse con su almacenamiento. Se requieren descargas de agua de buena calidad para mantener los hábitats acuáticos río abajo en buen funcionamiento. La Desestratificación artificial es una de las medidas eficaces para mantener una buena calidad del agua en un embalse que sufre estratificación. Se requiere una pequeña cantidad de energía por unidad de volumen para elevar el agua del fondo más fría a la superficie de un embalse estratificado. Esto ayuda a mezclar el agua y a mantener una temperatura uniforme y una distribución vertical del oxígeno disuelto (Ledec & Quintero, 2003).

4.9.2. Trampa y acarreo

Implica atrapar peces debajo de la presa y transportarlos al embalse o río arriba para mantener la diversidad de peces y el acervo genético. Pero es un trabajo intensivo, propenso a la caza furtiva por parte de los manipuladores y estresante para los peces, lo que aumenta su mortalidad. También necesita una ubicación adecuada: las instalaciones de trampas o sistemas de acarreo de peces deben diseñarse en la etapa más temprana posible y estar bien incorporadas al proyecto; una adición posterior puede ser problemática o imposible en absoluto (Ordóñez Salinas, 2010).

Capítulo 5: Cuenca del río Machángara

5.1. Descripción de la cuenca del río Machángara

La subcuenca del río Machángara se ubica en las provincias del Azuay y Cañar, forma parte de la cuenca del río Paute, posee una superficie de unos 325 km². En la ilustración 20 se ve cómo se divide la subcuenca en tres microcuencas: alta del Machángara, media del río Chulco y baja del Machángara. Su punto más alto se ubica a 4.400 m.s.n.m y descarga en el río Tomebamba a una altitud de unos 2.400 m.s.n.m. También hay tres zonas bioclimáticas: temporada de lluvias, subtropical lluvioso y templado muy húmedo (Mena Iza & Alquina Herrera, 2019).

La subcuenca del río Machángara en cuanto a uso del suelo, se distribuye de la siguiente forma: el 79,1% es bosque protegido, el 8.9% es un mosaico entre área urbana, pastos y cultivos, el 7,1% se utiliza como pastos, el 2.4% es área urbana, el 1.1% es cuerpos de agua y el 1,4% es suelo desnudo. Esta cuenca está regulada durante todo el año por la presencia de las dos centrales hidroeléctricas, con sus respectivas represas, el Labrado y Chanlud, ubicadas en la zona alta de la cuenca, aguas arriba de la ciudad de Cuenca; los embalses 17 millones de m³ y 6 millones de m³ de agua respectivamente y se utilizan para generar energía hidroeléctrica a través de las centrales de Saucay y Saymirín, cuya potencia instalada es de 38,4 MW (Díaz Granda C. , 2015).

El agua se extrae de la cuenca para su uso, principalmente como suministro de agua potable en la Planta de Agua Potable de Tixán, que abastece al 60% de la ciudad de Cuenca y a través del proyecto Chulco-Soroche que proporciona agua potable a la población de las parroquias de Checa, Octavio Cordero, Sidcay, Ricaurte y parte de Llaqueo (Jerves Cobo , y otros, 2017). El riego es otro aporte importante, por lo que el canal Machángara da servicio a 1.900 usuarios, mientras que el Canal Checa - Sidcay – Ricaurte beneficia con 865 usuarios y la Sociedad Ricaurte aprovisiona a 971 usuarios, para regar un área de 1.450 hectáreas. (Díaz Granda C. , 2015). La precipitación media anual en la cuenca varía entre 877 mm y 363 mm por año, mientras que la temperatura media anual fluctúa entre 16,3 ° C y 9,0 ° C en las zonas baja y alta, respectivamente. Las estaciones que están presentes durante el año, con un periodo lluvioso entre los meses de febrero a mayo, otro menos lluvioso en los meses de octubre a noviembre, y finalmente un periodo menos marcado (menor humedad) en los meses de julio a septiembre, diciembre y enero. El caudal promedio del río Machángara medido desde 1964 hasta 2010, antes de descargar al río Tomebamba, fue de 8,4 m³ /s, el mínimo promedio fue de 5,3 m³ /s en agosto y el máximo promedio de 14,6 m³ /s⁻¹ en mayo (Jerves Cobo , y otros, 2017).

Por último, está la belleza escénica de toda el área de bosque y vegetación existente, proporciona el hábitat a numerosas especies de flora y fauna que se encuentra en la cuenca media y alta (Ilustración 5.1). La cuenca del río Machángara ha sido considerada como una de las áreas prioritarias, ya que en su sección media alta se encuentra el Complejo Hidroeléctrico Machanga (CHM) que garantiza el suministro de agua aproximadamente al 60% de la población de la ciudad de Cuenca, además provee agua para riego a las comunidades que se encuentran en la cuenca baja del río Machángara y permite generar energía eléctrica limpia bajo estricto control y operación por parte de la Empresa Electro Generadora del Austro ELECAUSTRO S.A. (Hans Wolf & Partner Cía. Ltda , 2002).

Ilustración 5.1. División de la subcuenca del río Machángara.

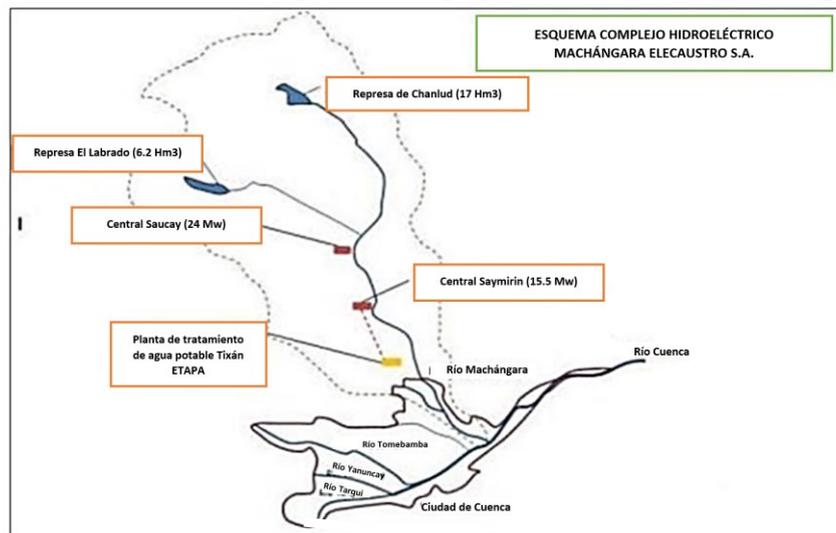


Fuente: ACOTECNIC CIA LTDA (2013).

5.2. Complejo Hidroeléctrico Machángara

El Complejo Hidroeléctrico Machángara (CHM) se encuentra ubicado en la cuenca media y alta del río Machángara, a una distancia de 40Km de la ciudad de Cuenca, al noroccidente de la misma; aquí se encuentran implantadas las siguientes obras de infraestructura civil y electromecánica: presa de El Labrado, presa de Chanlud, canal Chanlud – Tuñi, canal Labrado - Tuñi, Tanque de presión Tuñi, sistema By Pass, sistema Captación Bocacaz, canal de Saymirín, Reservorio Dutasay y, centrales de generación Saucay, Saymirín III-IV y Saymirín V (Ilustración 5.2) (ELECAUSTRO E. , 2015).

Ilustración 5.2. Esquema Complejo Hidroeléctrico Machángara



Fuente: Hans Wolf & Partner Cía. Ltda (2002).

Central Saucay: La central Saucay de 24 MW de capacidad, cuenta con 4 unidades de generación con turbinas tipo Pelton, las mismas que requieren un caudal total nominal de 7,2 m³/s, el cual es regulado a través del tanque de presión Tuñi (ACOTECNIC CIA LTDA, 2013).

Central Saymirín III-IV: La central Saymirín III-IV de 8 MW, cuenta con dos unidades de generación con turbinas tipo Francis que requiere un caudal total nominal de 4,2 m³/s, el cual es regulado a través del reservorio Dutasay (ELECAUSTRO E. , 2015).

Central Saymirín V: La central Saymirín V de 7,52 MW, cuenta con dos unidades de generación con turbinas tipo pelton que requieren un caudal total nominal de 4,1 m³/s, el cual es regulado a través del reservorio Dutasay (Ortega, 2012).

5.2.1. Represa Chanlud para regular caudales, características naturales y paisajísticas alrededor de las presas

La presa Chanlud es de tipo arco gravedad (Foto 5.1), tiene una altura de 51 metros, su embalse tiene una capacidad de almacenamiento de 17 Hm³. Este embalse se alimenta, por varios tributantes siendo las quebradas más importantes Machángara, Quinuaplaya, Guaguallipis. La presa cuenta con la infraestructura necesaria para proveer el caudal ecológico hacia el río Machángara (Hans Wolf & Partner Cía. Ltda , 2002).

Foto 5.1. Embalse y represa de Chanlud.



Fuete: Autor.

En el sector de Chanlud, se han observado pequeños remanentes abiertos de bosques de *Polylepis incana*, creciendo a lo largo del río. No obstante, la mayor parte de bosques de *Polylepis* de la subcuenca del Machángara están dominados por *Polylepis reticulata*, también posee bosques y matorrales nativos (Foto 5.2) (Ortega, 2012).

Foto 5.2. Vegetación que se encuentra a los alrededores de la represa Chanlud.



Fuente: Autor.

Los caudales ecológicos varían entre 261 l/s para los meses de julio a enero (meses en los que los caudales medios mensuales son menores al caudal medio anual) a 444 l/s en abril, en donde el caudal medio mensual es el máximo. En febrero el caudal ecológico es de 293 l/s, en marzo 338 l/s, en mayo 334 l/s y en junio 299 l/s (ACOTECNIC CIA LTDA, 2013).

5.2.2. Represa El Labrado para regular caudales, características naturales y paisajísticas alrededor de las presas.

La presa El Labrado es de tipo gravedad (Foto 5.3), tiene una altura de 13 metros y su embalse cuenta con una capacidad de almacenamiento de 6,2 Hm³. El embalse se abastece varios tributantes entre ellos las quebradas más importantes son Toplacocho, Tacanga, Chanludpungu, Cachihuayco y Yantahuayco. La presa cuenta con la infraestructura necesaria para proveer el caudal ecológico hacia el río Chulco (Borrero, 2020).

Foto 5.3. Embalse y represa del Labrado.



Fuente: Autor.

Los bosques de *Polylepis* en el área se encuentran mayormente concentrados en los sectores de El Labrado y Chanlud, en donde se han registrado relictos de hasta 30 ha. Estructuralmente constituyen manchones de bosque cerrado con un dosel que alcanza los 8 m, y un diámetro de 20 a 30 cm. La composición florística está determinada por la predominancia de *Polylepis reticulada*, la única especie de quinoa que conforma remanentes boscosos, ya que *Polylepis incana*, no conforma remanentes boscosos significativos y su crecimiento está restringido a los márgenes del río Chulco, en donde se han registrado algunos árboles dispersos y pequeñas agregaciones de esta especie como se muestra en la foto 5.4. Por otra parte la *Polylepis racemosa*, ha sido sembrada básicamente en los alrededores de los campamentos de El Labrado y Chanlud (ACOTECNIC CIA LTDA, 2013).

Foto 5.4. Vegetación que se encuentra a los alrededores de la represa el Labrado.



Fuente: Autor.

Los caudales ecológicos varían entre 125 l/s para los meses de julio a enero (meses en los que los caudales medios mensuales son menores al caudal medio anual) a 216 l/s en abril, en donde el caudal medio mensual es el máximo. En febrero el caudal ecológico es de 143 l/s, en marzo 165 l/s, en mayo 159 l/s y en junio 142 l/s (Carchi García , 2015).

5.3. Hidrología y Meteorología de la subcuenca.

5.3.1. Caudales regulados de la cuenca del río Machángara

La infraestructura de regulación se debe gracias a las presas de El Labrado y Chanlud y los embalses generados por ellas. La regulación de los caudales tiene por objeto evaluar la capacidad de regulación de cada uno de los embalses teniendo como base los caudales generados. En el caso del embalse de Chanlud, sugiere que para la actual capacidad del embalse cuyo volumen útil es de 15.74 Hm³, el caudal regulado sería de 1.72 m³/s; y en el caso del embalse del labrado, al estar definido el volumen útil de almacenamiento en 6.25 Hm³, se estima que la capacidad actual de regulación a caudal constante es de 0.79 m³/s (ACOTECNIC CIA LTDA, 2013).

La infraestructura de regulación de las represas no sólo sirve a la comunidad con la producción hidroeléctrica, sino que garantizaría la atención de los requerimientos de agua potable, que la cuenca del río Machángara ofrece con un régimen natural de caudales.

En la tabla 5.1 se observa con claridad la crecida extrema nunca antes vista del río Tarqui con un caudal superior a los 150 m³/s por parte de ETAPA, una creciente grande de 175.82 m³/s del Yanuncay, una creciente moderada del Tomebamba de 118.34 m³/s y un registro de 32.79 m³/s en el Machángara que no causó ningún daño en sus riberas. Esto se debe a que la cuenca del río Machángara poseen los embalses del labrado y Chanlud en la parte alta de la cuenca, los cuales regulan los caudales que abastecen al río aguas abajo.

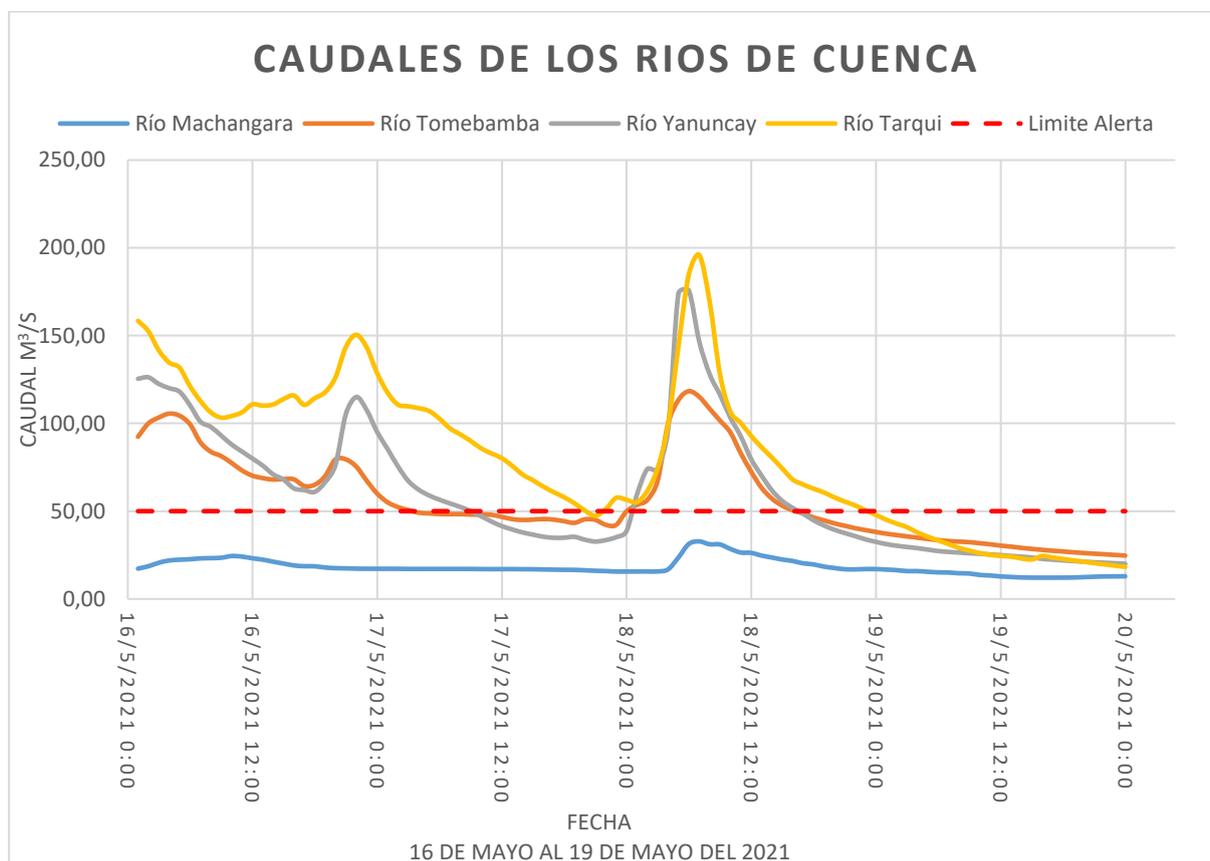
Tabla 5.1. Reporte de caudales máximos instantáneos entre los días 16 y 19 de mayo-2021.

RÍO	CAUDALES MÁXIMOS		ESTACIÓN MED. CAUDAL	ESTADO DE ALERTA
	m ³ /s	%		
Tarqui	195.99	37.48	AJ YANUNCAY	Alerta (50 m3 en adelante)
Yanuncay	175.82	33.62	AJ TARQUI	Alerta (50 m3 en adelante)
Tomebamba	118.34	22.63	DJ. RIO	Alerta (50 m3 en adelante)
Machángara	32.79	6.27	PIC	Prealerta (20-49 m3/s)
TOTAL	522.94	100		

Fuente: ETAPA EP (2021).

En la gráfica 5.1 se muestra la variación de los caudales de los 4 ríos de Cuenca, desde el 16 de mayo del 2021 hasta el 19 de mayo del 2021, evidenciando el descontrol de estos superando el límite de alerta que son los 50 m³/s en los ríos Tarqui, Tomebamba y Yanuncay.

Gráfica 5.1. Caudales registrados de los ríos de Cuenca entre los días 16 y 19 de mayo-2021.



Fuente: ETAPA EP (2021).

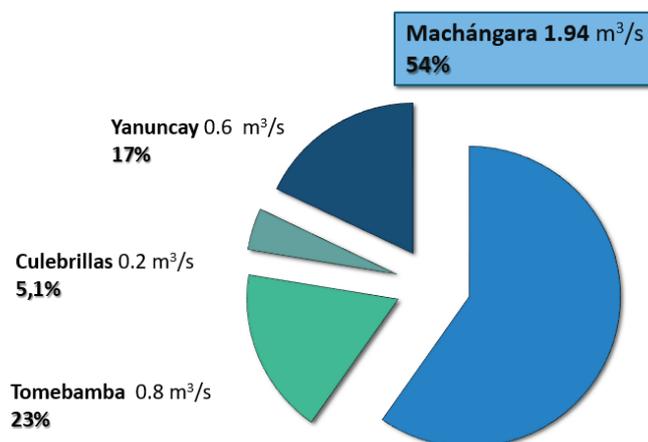
5.4. Usos del agua de la cuenca del río Machángara

5.4.1. Provisión de agua potable

Los ríos Tarqui, Yanuncay, Tomebamba, Machángara y Norcay son ríos de abastecimiento de agua para las plantas de agua a las plantas de potabilización de Tixán, El Cebollar y Sustag, así como también dan cobertura a los sistemas comunitarios Tarqui - Victoria del Portete, Proyecto Nero, Buena Esperanza, Pucaraloma y Tutupali Chico (Acosta Espinosa & Cajas Guijarro, 2020).

El principal consumo humano en la cuenca del río Machángara (Gráfico 5.2) es el agua cruda derivada para la producción de agua potable en Cuenca en la planta de Tixán propiedad de ETAPA EP, que potabiliza 1.94 m³/s y abastece 365.313 habitantes de la población cuencana y a 550.000 usuarios en un futuro (ETAPA, 2021). También hay algunos sistemas pequeños como el que abastece a Chiquintad, ubicada en el sector de Santa Teresita y que se alimenta de las aguas del río Saymirín, con un caudal en la fuente de 13,4 l/s; el que abastece a San José, que usa las aguas de la misma fuente con un caudal de 2,2 l/s; y, el que abastece a la pequeña planta que sirve a Santa Teresita con un caudal de 1,7 l/s, extraídos del río Quintul (Espinosa Gárate, 2015).

Gráfica 5.2. Porcentaje de la cantidad de agua que aportan los ríos para el consumo humano.



Fuente: ETAPA EP (2021).

5.4.2. Generación hidroeléctrica

Gracias a los embalses del Labrado y Chanlud, la empresa encargada de la generación de energía eléctrica ELECAUSTRO, tiene una potencia instalada en las centrales de Saucay y Saymirin de 38,4 Mw, lo que genera una energía de 200 millones de KW al año, el cual es integrado al sistema nacional interconectado de energía eléctrica (ELECAUSTRO, 2021). Por esta razón a la subcuenca alta del Machángara es considerada un ecosistema estratégico, que debe ser conservado, protegido y manejado, ya que esta área cumple con unas funciones vitales para la ciudad de Cuenca, las comunidades aledañas y para el País (Borrero, 2020).

En la tabla 5.2 se puede ver cuanta energía bruta genera anualmente las 3 centrales hidroeléctricas que se encuentran en la zona media de la subcuenca del río Machángara.

Tabla 5.2. Energía bruta generada en las centrales hidroeléctricas de Saucay, Saymirin III – IV-V desde el año 2000 hasta junio del 2021.

ENERGÍA BRUTA GENERADA			
AÑO	Central Saucay	Central Saymirín V	Central Saymirín III-IV
2000	118,108,880.00		61,798,527.00
2001	108,554,884.00		56,059,654.00
2002	109,487,080.00		32,121,556.00
2003	109,310,585.00		42,458,091.00
2004	116,815,240.00		60,680,872.00
2005	118,040,518.00		55,606,865.00
2006	114,969,433.00		60,235,867.00

2007	126,664,309.00		67,500,441.00
2008	157,526,111.00		69,915,703.00
2009	118,981,164.00		64,041,620.00
2010	101,668,350.15		50,522,098.05
2011	143,326,030.00		62,560,709.00
2012	139,658,478.60		65,505,552.00
2013	115,321,385.60		57,253,145.60
2014	118,036,702.04	22,990,595.49	41,102,396.13
2015	142,697,294.45	61,714,836.40	38,691,870.40
2016	116,933,239.60	58,020,488.00	29,193,186.62
2017	127,821,769.20	57,361,858.00	34,743,802.03
2018	103,847,325.77	58,905,512.00	27,514,544.69
2019	111,651,953.50	63,530,920.00	32,912,060.26
2020	115,529,902.00	63,692,544.00	26,961,964.57
2021	62,971,069.60	24,555,712.00	11,721,907.56
Promedio	118,087,350.21	51,346,558.24	47,686,474.22

Fuente: Salinas et al. (2021).

En la tabla 5.3 se ve cuanto generan anualmente las centrales hidroeléctricas que se encuentran instaladas en la cuenca del río Machángara. Una parte de esos recursos generados son utilizados programas del Plan de Manejo Integral de la Cuenca del Río Machángara, los cuales son importantes para mitigar los impactos y buscar alternativas de solución para la cuenca.

Tabla 5.3. Facturación de energía ElecAustro por central [US-\$] año 2020.

Fecha	Centrales hidroeléctricas de la subcuenca del río Machángara			TOTAL
	Saucay	Saymirin III-IV	Saymirin V	
enero-2020	254,318.60	126,096.75	392,785.81	773,201.16
febrero-2020	251,605.76	123,549.85	340,168.23	715,323.84
marzo-2020	252,546.52	125,053.99	373,499.93	751,100.44
abril-2020	254,003.21	129,449.95	376,481.25	759,934.41
mayo-2020	259,102.84	132,931.33	391,165.99	783,200.16
junio-2020	255,821.23	128,108.69	375,652.19	759,582.11
julio-2020	255,867.53	129,576.87	396,370.87	781,815.27
agosto-2020	252,179.21	124,724.07	392,868.13	769,771.41
septiembre-2020	250,315.59	123,259.63	381,674.06	755,249.28
octubre-2020	211,448.18	102,429.94	393,055.60	706,933.72
noviembre-2020	206,718.03	100,818.76	319,156.52	626,693.31
diciembre-2020	212,777.83	105,489.15	388,699.76	706,966.74
Facturación promedio[US-\$]	243,058.71	120,957.42	376,798.20	740,814.32
TOTAL	2,916,704.5	1,451,488.98	4,521,578.3	8,889,771.8
	3		4	5

Fuente: Salinas et al. (2021).

5.4.3. Caudales ecológicos.

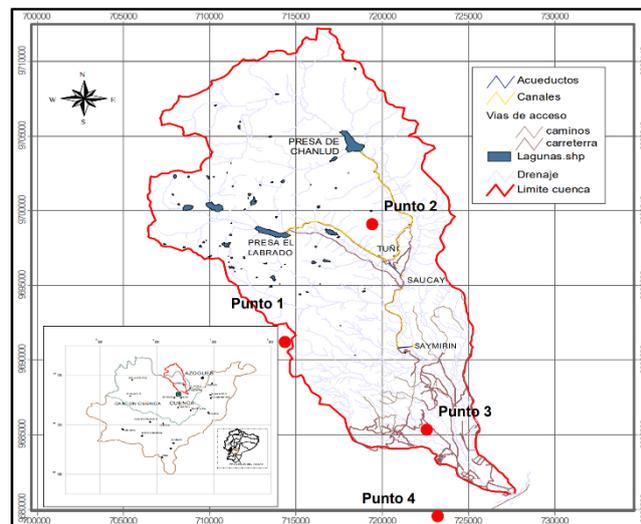
Los caudales ecológicos son cantidades de agua que deben garantizarse en un cauce natural y están íntimamente ligados a las comunidades de seres vivos que se quiere proteger y que viven en el medio; es decir, dependen fundamentalmente de criterios biológicos. Los caudales ecológicos de ríos y humedales son herramientas de gestión que pueden consensuar la gestión integrada y sostenible de los recursos hídricos para establecer los régimen de calidad, cantidad y caudal de agua necesarios para mantener sus componentes, funciones, procesos y resiliencia; ecosistemas acuáticos que brindan bienes y servicios a la sociedad (Huguenin, 2016).

Las medidas para garantizar el caudal ecológico en la subcuenca del río Machángara es la adecuada operación de las compuertas en los canales de derivación, localizados al pie de las presas Chanlud y El Labrado, permitirá disminuir el impacto causado por la presencia de los embalses, en relación con el notable cambio del régimen hídrico natural de los cursos de agua. Esta operación debe asegurar el mantenimiento del caudal ecológico del cauce de los ríos (Borrero, 2020).

La determinación de los caudales ecológicos se realiza para las siguientes secciones (Ilustración 5.3):

- ♣ Sección 1. - Aguas abajo de la presa El Labrado
- ♣ Sección 2. - Aguas abajo de la derivación del río Machángara en la presa Chanlud
- ♣ Sección 3. - Aguas abajo de la derivación del río Machángara al canal Saymirín
- ♣ Sección 4. - Aguas abajo de la descarga de la central Saymirín.

Ilustración 5.3. Secciones para control de caudal ecológico



Fuente: UNIVERSIDAD DE CUENCA (2017).

Se puede asumir que los caudales ecológicos son un valor del 10% del gasto mínimo y se proporciona una garantía del 80% en términos de caudales específicos por km² de cuenca hidrográfica, para esta zona es igual a 1.0 l/s/km². Se concluye que los caudales a mantener en las secciones definidas son los que se presentan en la Tabla 5.4.

Tabla 5.4. Caudales ecológicos

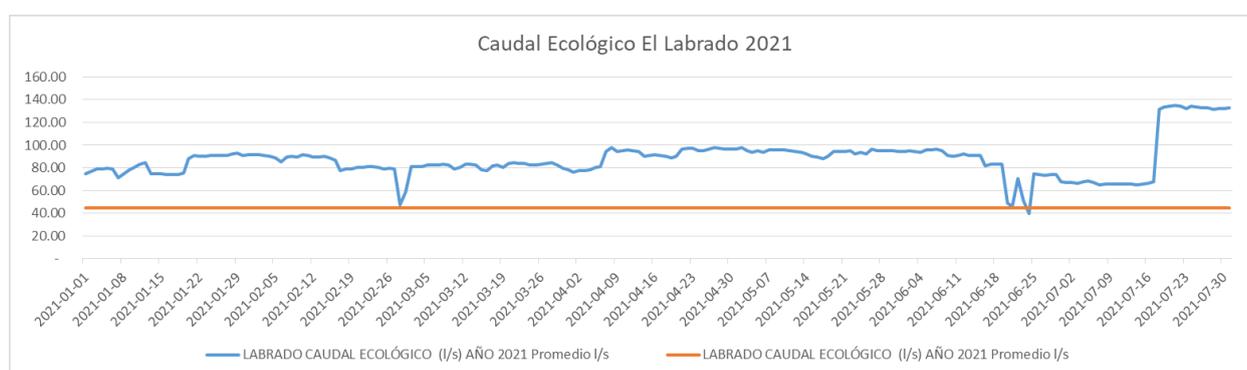
<i>Sección de la determinación del caudal ecológico</i>	<i>Caudal (l/s)</i>
<i>Sección 1</i>	45
<i>Sección 2</i>	90
<i>Sección 3</i>	210
<i>Sección 4</i>	235

Fuente: UNIVERSIDAD DE CUENCA, DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS Y CIENCIAS AMBIENTALES (2017).

Los caudales en tramos intermedios entre las secciones definidas, podrán mantenerse con los aportes de las propias áreas de drenaje correspondientes, que no son captados por las estructuras de derivación secundarias, localizadas a lo largo de las conducciones. Con base a mediciones hidrométricas directas y también a los datos contenidos en el estudio del departamento de sistemas de riego, subsector riego – cuenca del río Machángara, se establece que el caudal mínimo con garantía del 80%, que genera la cuenca del río Machángara es del orden de 13 l/s/km² (UNIVERSIDAD DE CUENCA, 2017) .

En la gráfica 5.3 se muestra el caudal ecológico que genera El Labrado en el año 2021 (Sección 1), mostrando que no disminuye de los 45 l/s aportando a la cuenca del río Machángara una gran cantidad de agua.

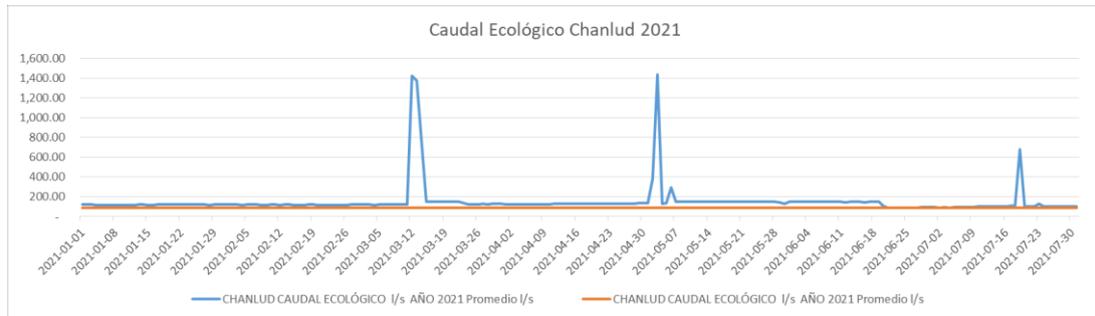
Gráfica 5.3. Caudal Ecológico El Labrado desde enero hasta julio del 2021.



Fuente: ElecAustro (2021).

También en la gráfica 5.4 se muestra el caudal ecológico de Chanlud (Sección 2) en donde su caudal no disminuye tan significativamente por debajo de los 90 l/s.

Gráfica 5.4. Caudal Ecológico Chanlud desde enero hasta julio del 2021.



Fuente: ElecAustro (2021).

5.5. Caudales mínimos en el Machángara, Yanuncay, Tomebamba y Tarqui, ríos de Cuenca

En épocas de estiaje los ríos de Cuenca disminuyen significativamente y eso causa algunos problemas tanto para el riego en la agricultura como el suministro de agua potable, como se puede visualizar en la tabla 5.5, los caudales mínimos generados el día 17 de noviembre del 2020, de los 3 ríos a excepción del Machángara poseen caudales muy bajos a comparación del Machángara, el cual posee un caudal de 5 m³/s.

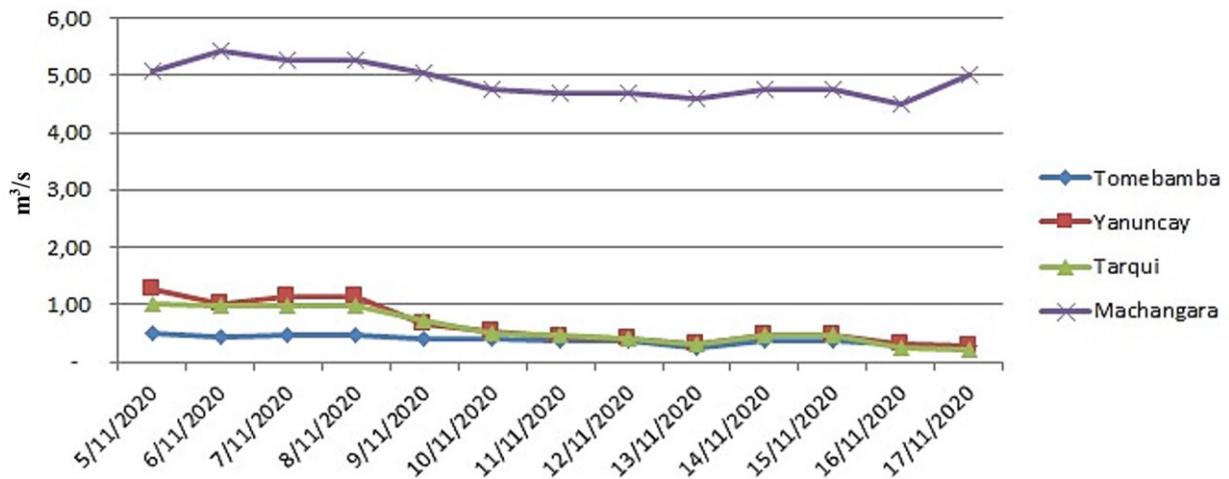
Tabla 5.5. Caudales mínimos registrados el día 17 de noviembre del 2020.

REPORTE DE CAUDALES			
RÍO	CAUDAL	UNIDAD	ESTADO
Tomebamba	0,28	m ³ /s	Bajo
Yanuncay	0,27	m ³ /s	Bajo
Tarqui	0,22	m ³ /s	Bajo
Machángara	5,00	m ³ /s	Bajo

Fuente: ETAPA EP (2021).

Específicamente en el mes de noviembre (Grafica 5.5) existieron caudales no superiores a los 1,5 m³/s que se consideran bajos debido a la falta de lluvias en esa época, pero en el río Machángara no existió un caudal inferior a los 4 m³/s.

Gráfica 5.5. Caudales mínimos registrados el día 5 al 17 de noviembre del 2020.



Fuente: ETAPA EP (2021).

5.6. Comité de regulación de la cuenca del río Machángara.

La gestión integral del agua incluye la toma de decisiones y la gestión de los recursos hídricos para diferentes usos, de manera que se tengan en cuenta las necesidades y deseos de los diferentes usuarios y actores desde una perspectiva cualitativa, cuantitativa, ecológica y multisectorial. Debido al concepto de usos múltiples del agua y la necesidad de conservar los recursos naturales de la cuenca, múltiples instituciones como: Universidad de Cuenca, ETAPA EP, Ministerio del ambiente y agua, ministerio de agricultura y ganadería, junta de riego y drenaje Machángara, GAD Checa, GAD Chiquintad, prefectura del Azuay y la empresa ELECAUSTRO constituyeron el comité de manejo de la cuenca (Díaz Granda C. , 2018).

El Comité de Gestión de la Subcuenca del río Machángara ha establecido un modelo de gestión del entorno social eficiente y eficaz a nivel nacional e internacional, para asegurar que la cuenca sea un espacio vital dentro del concepto de gestión integral de los recursos hídricos. Velar por la integridad del territorio del cantón Cuenca, conservación ambiental, conservación de ecosistemas, biodiversidad y patrimonio genético nacional, prevención de daños ambientales y restauración de espacios naturales degradados. La misión de la Comisión es “regular, planificar, coordinar, controlar, y gestionar la conservación de la riqueza genética y la biodiversidad en la cuenca del río Machángara, en las áreas de vegetación nativa que apoyan la gestión de los recursos hídricos y la protección de las fuentes de agua. Asegurar relaciones armónicas entre ejes económicos, sociales y ambientales que preserven la estabilidad del agua, los bellos paisajes y ecosistemas locales, y aseguren el manejo sustentable, la convivencia armónica y el respeto por los recursos naturales de la región” (Díaz Cruz, 2015).

El Comité de regulación de la cuenca del río Machángara cuenta con programas en geología e ingeniería geotécnica, hidrología y climatología, ecología, divulgación y comunicación social, educación ambiental y relaciones comunitarias, y proyectos para asegurar que la cuenca del río Machángara se preserve y no se degrade.

Las fortalezas del Comité de regulación de la cuenca del río Machángara dado por Díaz Cruz (2015) se presenta a continuación:

- ✓ Recursos hídricos aprovechables
- ✓ Presencia de bosque nativo en buen estado y humedales.
- ✓ Presencia de bosques primarios y secundarios.
- ✓ Plantas medicinales.
- ✓ Predios de propiedad de ETAPA EP y ELECAUSTRO
- ✓ El 77% de la subcuenca se encuentra en Área de Bosque y Vegetación Protectora.
- ✓ Se cuenta con información hidrológica y geológica importante.
- ✓ Existencia de asociaciones, juntas de regantes, grupos de mujeres, jóvenes interesados en mejorar las condiciones de las dos parroquias Checa y Chiquintad.
- ✓ Producción agroecológica
- ✓ Actividad laboral en la ciudad minimiza el uso de recursos naturales.
- ✓ Aprovechamiento múltiple del agua: tanto para consumo humano como para riego y generación de energía.
- ✓ Cuentan con asistencia técnica y transferencia de tecnologías.

Capítulo 6: Proyecto hidroeléctrico múltiple Soldados-Yanuncay

6.1. Subcuenca del Yanuncay y su deterioro

Preocupantes problemas y cada vez de mayor intensidad se evidencian en la subcuenca del Yanuncay, siendo muy susceptible a inundaciones y deslizamientos de tierra. De persistir la ganadería y las actividades agrícolas arrasando el chaparro y pajonal, se teme que haya problemas de abastecimiento de agua, erosión y aumento de la sedimentación en el río Yanuncay, lo que afectará el suministro de agua a la ciudad.

Las súbitas crecientes del río, seguidas de períodos de estiaje por la poca capacidad de retención en las cuencas media y alta en el incremento de la escorrentía se originan por los siguientes factores:

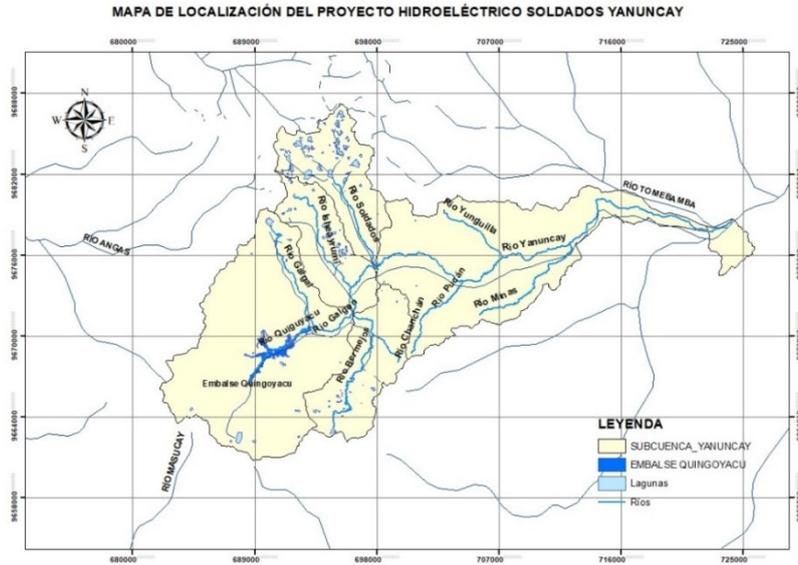
- Expansión de la frontera agropecuaria, causando alto impacto en la estructura del suelo y la capacidad de almacenamiento de agua, característica propia de un suelo de páramo, bosque altoandino y el sistema lacustre.
- Fincas ganaderas, para la producción de lácteos y derivados que realizan la abonadura del suelo principalmente con gallinaza entre 600 a 1.000 sacos/ha/año siendo la principal fuente de contaminación orgánica (Flachhser Troya, 2016).
- El crecimiento del área urbana de Cuenca, especialmente en la zona de San Joaquín donde la parroquia rural ha sido absorbida en su totalidad (Webster, 2019).
- Principal actividad económica de las familias de la cuenca del Yanuncay es la ganadería. Una parte importante de la cuenca se encuentra bajo pastos, una actividad económica que parece estar en expansión. Aunque la ley forestal prohíbe el cambio de uso de la tierra, las prácticas de tala y quema son comunes entre las familias que habitan las riberas del río Yanuncay (Echavarría , Vogel , Albán , & Meneses , 2004).

Es decir que se han desarrollado actividades ganaderas en los suelos de la subcuenca que han provocado deterioro en la calidad del agua. El impacto de la contaminación del agua y el ganado es significativo, además de la presencia de grandes cantidades de aguas residuales orgánicas y ricas en coliformes, deben ser vistos desde una perspectiva de cadena que va desde la producción de pastos hasta la transformación de productos animales (Matovelle, 2021).

6.2. Localización del proyecto hidroeléctrico soldados Yanuncay (PHSY)

El área de ubicación del Proyecto se encuentra en la zona austral del Ecuador, provincia de Azuay, cantón Cuenca, parroquias de Baños y San Joaquín. Geográficamente, la zona del Proyecto se encuentra ubicada dentro de la cuenca hidrográfica del río Yanuncay entre las coordenadas: Este 692 003, Norte 9 669 731 y Este 710 984, Norte 9 676 463, zona geodésica 17 M, dentro de la cuenca hidrográfica del río Yanuncay, la misma que se encuentra ubicada en la cabecera de la cuenca del río Paute (ELECAUSTRO, 2021). Las obras se ubican entre los 3.580 msnm y 2.700 msnm (Ilustración 6.1). En, dicha zona las temperaturas oscilan entre 1,2 °C hasta 18,8°C. En esta zona la estación lluviosa corresponde a los meses de febrero a julio y el período de estiaje es de agosto a enero. (ACOTECNIC Cía Ltda, 2020).

Ilustración 6.1. Mapa de ubicación del PHSY.



Fuente: Autor.

Es un proyecto multipropósito para la ciudad de Cuenca, siendo necesario para el desarrollo y beneficios de la gente de las comunidades de la zona de influencia, la ciudad, la región y el país.

6.3. Componentes del Proyecto Hidroeléctrico Soldados Yanuncay

Se trata de una presa de tierra de 42 m de altura con una capacidad de 21 Hm³ y constará de dos centrales en cascada, "Soldados" con 7 MW y "Yanuncay" con 15 MW (Ilustración 6.2) (Borrero, 2020). Volúmenes de agua que además, aseguran el suministro de agua potable y riego para Cuenca. La interconexión del proyecto hidroeléctrico Soldados Yanuncay se realiza con el sistema de subtransmisión ERCS a través de la línea Soldados-Yanuncay-Turi con la finalidad de mejorar la confiabilidad del servicio en la región sur de la ciudad de Cuenca.

Ilustración 6.2. Esquema del Proyecto

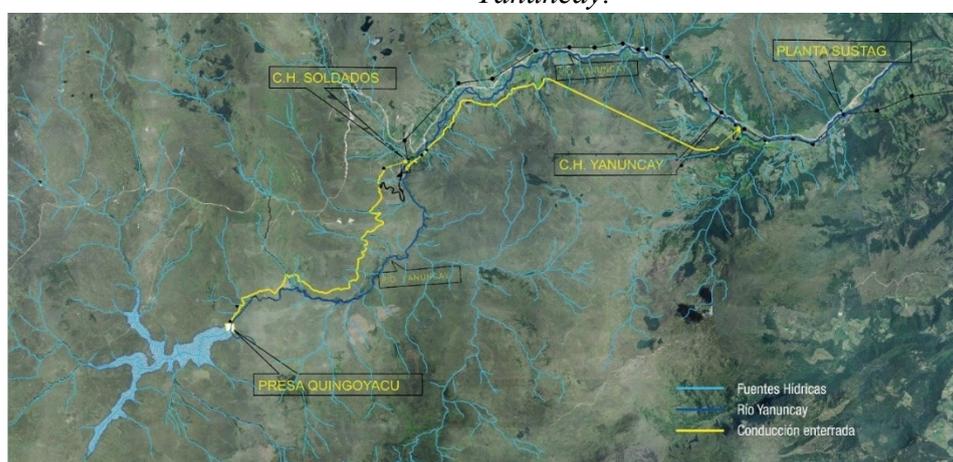


Fuente: ElecAustro (2021).

El sistema hidro-energético definido en la cuenca alta del río Yanuncay consta de dos centrales hidroeléctricas en cascada: Central Hidroeléctrica Soldados y Central Hidroeléctrica Yanuncay, adicionalmente cuenta en su parte inicial con un embalse de regulación multianual denominado Quingoyacu. En la ilustración 6.3 se muestra como el agua descargada del embalse será conducida a gravedad a la primera central.

En el sistema de conducción se recibe además el aporte de la quebrada Galgal. Luego el agua turbinada de la Central Hidroeléctrica Soldados alimenta a la Central Hidroeléctrica Yanuncay, que a su vez recibe el aporte de la cuenca intermedia y de la quebrada Ishcayrumi, llegando así a la planta de agua potable de Sustag (ACOTECNIC Cía Ltda, 2020).

Ilustración 6.3. Esquema de los componentes del Proyecto Hidroeléctrico Soldados Yanuncay.



Fuente: ACOTECNIC (2020).

6.3.1. Represa de Quingoyacu

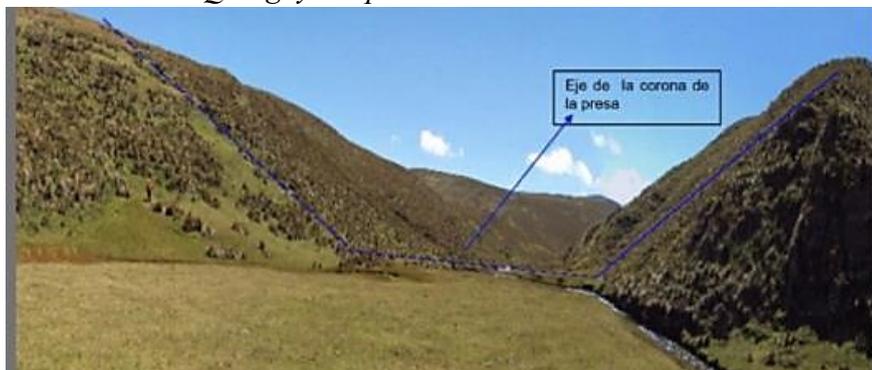
La presa Quingoyacu estará ubicada en una sección fluvial del río Quingoyacu, a la cota 3.557 m.s.n.m., el río Quingoyacu se forma de las aportaciones de la quebrada Quinsachoglló y el río Sigsihuaycu. La zona de la presa se encuentra entre las coordenadas UTM (WGS 84): 688 421 E (cola del embalse) y 703 463 E (Restitución de Caudales Central Hidroeléctrica Yanuncay); y, 9 675 555 N (inicio de vía de acceso al ingreso del túnel) y 9 666 228 N (cola del embalse). El sitio se encuentra aproximadamente a una distancia de 43 km desde la ciudad de Cuenca hasta el sitio de la presa, medida a lo largo de las vías de acceso (ELECAUSTRO, 2021).

6.3.1.1. Meteorología del área de la presa

En la estación meteorológica representativa para el proyecto, la estación El Labrado, se puede observar que la temperatura media se encuentra entre los 8,5 °C y 9 °C; la humedad relativa varía entre el 88 y 90 %. La distribución temporal de precipitación a lo largo del año tiene un período lluvioso con valores picos en los meses de febrero a mayo. En la Estación Yanuncay en Pucán (3.044 m.s.n.m.), el pico más alto de precipitaciones corresponde al mes de marzo con 123,27 mm y en la estación Cancán (3.970 m.s.n.m.) también corresponde al mes de marzo con 110,92 mm; las precipitaciones más bajas se dan en el mes de agosto con 44,45 y 31,92 mm, respectivamente. La represa de Quingoyacu es una presa de tierra de sección homogénea de 46,7 m de altura y con capacidad útil de almacenamiento de aproximadamente 20,72 hm³ de

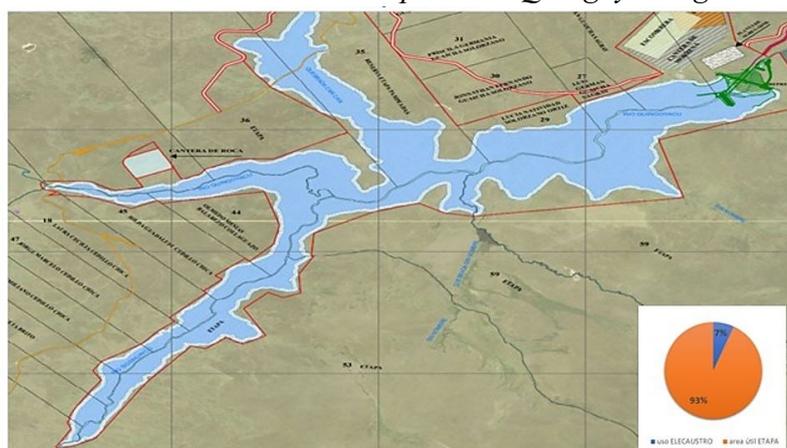
agua (ilustración 6.4); el área inundada por la presa de Quingoyacu va hacer de 183 Ha (Ilustración 6.5) (ACOTECNIC Cía Ltda, 2020).

Ilustración 6.4. Presa Quingoyacu para almacenar 21 millones de m³ de agua.



Fuente: ELECAUSTRO (2021) Fuente: ElecAustro (2021).

Ilustración 6.5. Área de inundación presa de Quingoyacu igual a 183 hectáreas



Fuente: ACOTECNIC Cía Ltda (2020).

6.3.1.2. Descripción del área de inundación.

El reservorio Quingoyacu operaría como reservorio de regulación estacional y con la posibilidad de usarlo para la regulación horaria. En el primer caso, almacena el agua en tiempo de superávit para aprovecharlo en el tiempo de estiaje. En el segundo caso, se retendrá en el embalse el volumen de descarga diaria para descargarlo en las horas punta (ELECAUSTRO, 2021).

La Presa Quingoyacu estará ubicada en una sección fluvial del río Quingoyacu, en la cota 3.544 m.s.n.m. El río Quingoyacu se forma de las aportaciones de la quebrada Quinsachoglo y el río Sigsihuaycu. (Foto 6.1).

Foto 6.1. Área de inundación presa de Quingoyacu.



Fuente: Autor.

Con respecto a la hidrología donde se construirá la represa Quingoyacu, en la tabla 6.1 se muestra los caudales medios, máximos, mínimos y garantizados al 95 % del tiempo así como los volúmenes promedio, máximo y mínimo de la zona de la represa Quingoyacu, posee un caudal promedio de 2,10 m³/s, con un máximo de 14,44 m³/s. También se volumen promedio anual de 66,17 MMC.

Tabla 6.1. Caudales y volúmenes anuales representativos

<i>Cuenca de interés</i>	<i>Caudal anual, m³/s</i>				<i>Volumen anual MMC</i>		
	Medio	Máximo	Mínimo	Q95%	Promedio	Máximo	Mínimo
<i>Presa Quingoyacu</i>	2,100	14,440	0,230	0,430	66,17	107,47	31,16

Fuente: ElecAustro (2021).

Las precipitaciones mensuales se han calculado las series mensuales correspondientes del sitio de presa (Tabla 6.2 va desde el periodo 1965/1989-1997/2009 un total de 38 años). De esta manera, se tiene una buena aproximación a los valores reales de producción durante la vida útil del proyecto. En la siguiente tabla se ve las precipitaciones generadas mensualmente en el sitio donde se encontrará la represa Quingoyacu, se puede observar que la estación húmeda corresponde al período febrero a abril, la estación seca a los meses de agosto y setiembre, que se presenta una estación húmeda de menor magnitud en los meses de octubre a diciembre.

Tabla 6.2. Precipitación mensual media en la presa Quingoyacu.

Punto de Interés	ALTITUD	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
	m.s.n.m.	Precipitación, mm												
Presa Quingoyacu	3 564	90,7	107,4	146,1	130,5	106,1	84,1	72,9	60,3	61,0	75,8	84,7	88,0	1107,6

Fuente: ElecAustro (2021).

Geología del área: Las condiciones geológicas, en las zonas del embalse y la presa Quingoyacu, muestran características favorables para la construcción de las obras, así como las condiciones morfológicas del eje de presa Quingoyacu, se muestran favorables en el sitio de cimentación, hacia aguas arriba y abajo. En las cercanías del eje de presa se ha identificado materiales de construcción locales en cantidades suficientes, para agregados de concreto, para el cuerpo de presa y para enrocado (ACOTECNIC Cía Ltda, 2020).

Flora predominante: Con respecto a la flora de la zona a inundar, como se muestra en la foto 6.2 el área se caracteriza por presentar un relieve irregular, con altas elevaciones, valles y quebradas con estructura y vegetación característica de páramos húmedos, con variedad de especies herbáceas, arbustivas, pajonales en gran cantidad y pocas especies de árboles.

Foto 6.2. Flora que encuentra en el área de inundación.



Fuente: Autor.

La zona está dominada por arbustos y árboles pequeños característicos del páramo, ubicados generalmente en quebradas y pendientes donde es difícil el acceso, porque la vegetación es muy densa y también existe pajonal en gran parte de la zona como se puede ver en la foto 6.3.

Foto 6.3. Área de inundación gran presencia de pajonal.



Fuente: Autor.

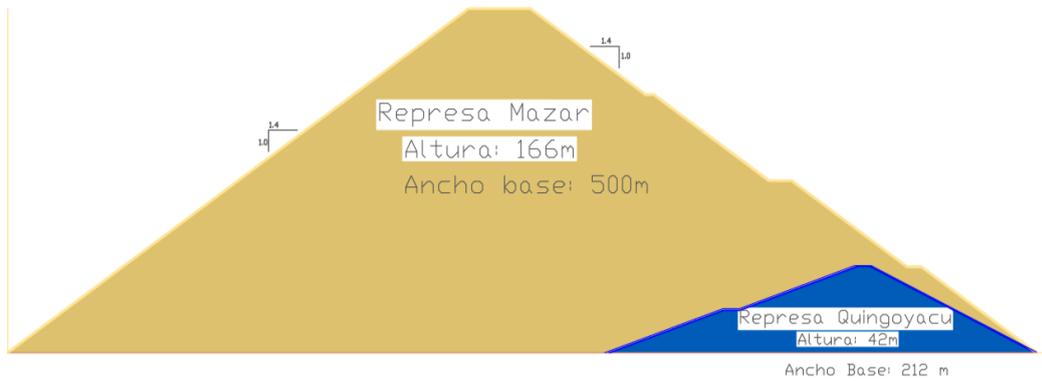
6.3.1.3. Comparación de la presa de Quingoyacu con la presa de Mazar.

La presa de Mazar está ubicada al sur-este del Ecuador, entre los límites de las Provincias de Azuay y Cañar. El sitio se encuentra aproximadamente en el Km 105 de la vía Cuenca-Paute-Guarumales-Méndez, es una presa de enrocado con pantalla de hormigón que forma un embalse con un volumen de 410 Hm³ y con un área inundada 902,51 Ha. El nivel máximo normal de operación del embalse está en la cota 2.153 msnm, el nivel mínimo de operación del embalse es 2.098 msnm correspondiente a un volumen de 101 hm³. Entre las cotas 2.153 y 2.098 msnm se dispone de un volumen útil de 309 hm³. Presenta una variación climática que va desde el húmedo templado en el sector extremo oriental (San Pablo) hasta un clima seco subcálido en el extremo occidental, en el sitio Chicti (CONELEC, 2008).

El área de drenaje de la cuenca del río Paute hasta el sitio de la presa de Mazar es de 4.338 Km². La lluvia media anual de la cuenca es aproximadamente 1.000 mm. De manera similar, los meses de mayor caudal son de febrero a julio y los de menor caudal de agosto a enero. El caudal medio del río Paute en el sitio de la presa de Mazar es de 80,8 m³/s (Washima Tola, 2011).

En la ilustración 6.6 se puede ver que la represa de Mazar posee una altura de 166 metros y un ancho de 500 metros en su base, comparados a la presa de Quingoyacu que su altura sería de 42 m, lo cual sería cuatro veces más pequeña y con un ancho de 212 metros.

Ilustración 6.6. Comparación del tamaño de las presas de Mazar y Quingoyacu.

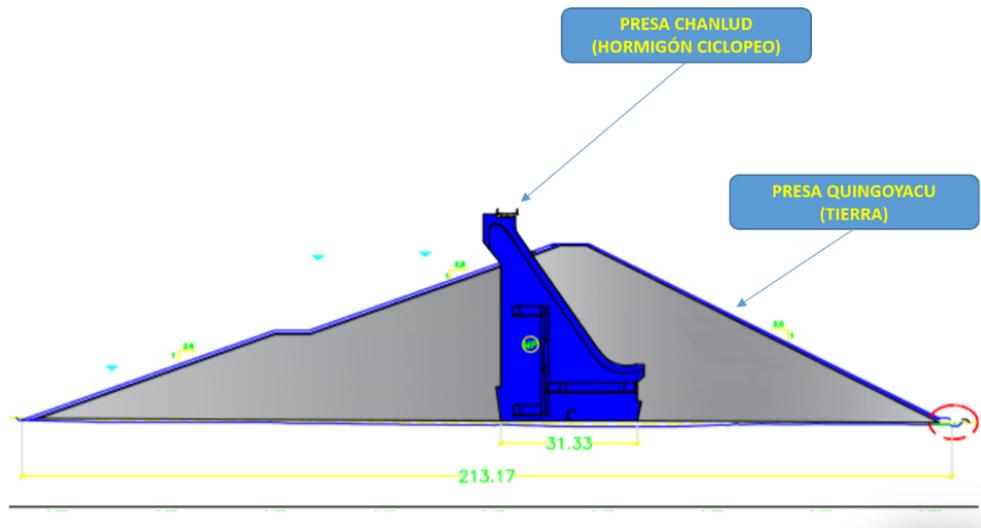


Fuente: ElecAustro (2021).

6.3.1.4. Comparación de la presa Chanlud con la presa Quingoyacu

La presa de Chanlud se encuentra ubicada en la cuenca alta del río Machángara, a una distancia de 45 kilómetros al noroccidente de la ciudad de Cuenca, provincia del Azuay, a 3.500 metros sobre el nivel del mar. Es una represa de hormigón armado tipo arco de gravedad con una altura de 51m y una capacidad de almacenamiento de 17 Hm³, pero como se puede ver en la ilustración 6.7 la altura de la presa Quingoyacu es mucho menor a la de Chanlud, además esta será una presa de tierra diferente a la que existe en Chanlud que es de hormigón.

Ilustración 6.7. Comparación de la altura de las presas de Chanlud y Quingoyacu.



Fuente: ElecAustro (2021).

6.3.2. Central Hidroeléctrica Soldados

Se ubicará en la margen izquierda del río Quingoyacu, el cual conforme avanza su cauce va tomando diferentes nombres hasta convertirse en el río Yanuncay. La altura donde se emplazarán las obras es entre 3.556 msnm y 3.326 msnm. El agua captada en el embalse

Quingoyacu, es conducida por un conducto a presión. Esta tubería que en su recorrido recibe el aporte de los excedentes del río Galgal en los meses de mayor aporte. El caudal de diseño de la central es de $4 \text{ m}^3/\text{s}$, altura neta de caída de 213 m y la capacidad de generación será de 7,2 MW.

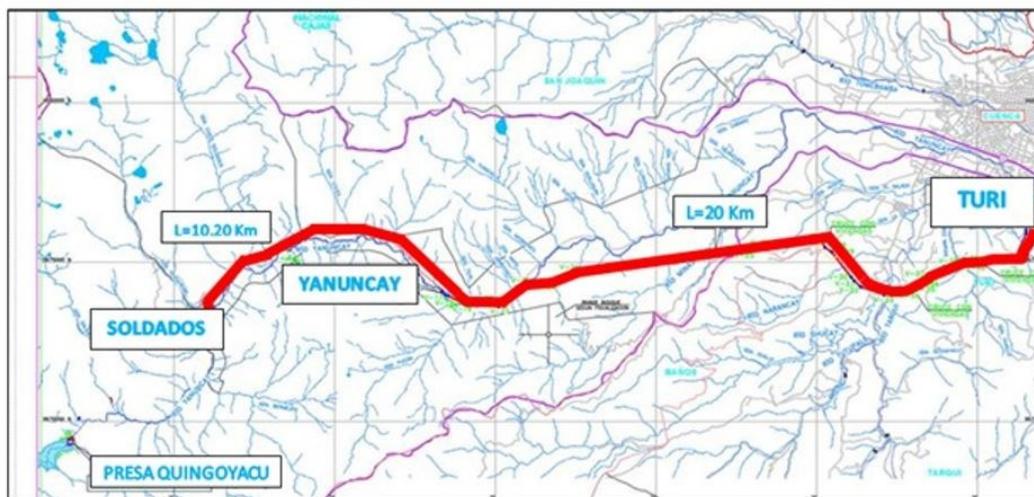
6.3.3. Central Hidroeléctrica Yanuncay

Aprovecha el caudal turbinado de la central Soldados, el caudal de la quebrada Ischcayrumi y el caudal en el río Yanuncay, que son conducidos a lo largo de 8 kilómetros hasta la casa de máquinas. El caudal de diseño de la conducción es $5,50 \text{ m}^3/\text{s}$ y en la casa de máquinas se instalarán dos turbinas Peltón, para una potencia total de 15 MW (ELECAUSTRO, 2021).

6.3.4. Línea de subtransmisión Soldados – Yanuncay – Turi

Con la finalidad de evacuar la energía producida por las centrales Soldados y Yanuncay, se realizará mediante el sistema de subtransmisión de la empresa eléctrica CENTROSUR, a través de las líneas de subtransmisión Soldados – Yanuncay y Yanuncay – Turi. La energía generada por central Soldados se conducirá desde una subestación ubicada junto a la central del mismo nombre hacia la subestación Yanuncay por medio de una línea de Transmisión de 69 kV, de 9,68 km de longitud y simple circuito. Desde la subestación Yanuncay se transportará la energía producida por las dos centrales a través de una línea de transmisión, también de 69 kV, de 20,27 km de longitud y simple circuito, hasta la subestación Turi de propiedad de la empresa eléctrica CENTROSUR (Ilustración 6.8).

Ilustración 6.8. Línea de transmisión Soldados-Yanuncay-Turi.



Fuente: ElecAustro (2021).

6.4. Objetivo del proyecto hidroeléctrico múltiple Soldados-Yanuncay.

La implementación del proyecto hidroeléctrico Soldados-Yanuncay es con el fin de suplir la creciente demanda eléctrica en el país; se prevé que con el proyecto se mejorara la confiabilidad del suministro de agua para consumo doméstico, y el control de inundaciones, en función del almacenamiento del recurso por medio de un embalse al inicio del aprovechamiento hidroeléctrico. La generación hidroeléctrica del proyecto reemplazará en la

misma proporción la generación térmica, de esta manera evitará en el mismo orden de magnitud el consumo de combustibles fósiles y por tanto la contaminación que los mismos acarrearán (ACOTECNIC Cía Ltda, 2020).

6.5. Beneficios de la construcción del Proyecto Hidroeléctrico Múltiple Soldados-Yanuncay

6.5.1. Disminuir los riesgos por inundaciones debido a las crecidas del río Yanuncay

Como lo registra la historia reciente de la ciudad de Cuenca, evidenciándose varios eventos de inundaciones provocadas por crecientes del río Yanuncay y que se muestra en la tabla 6.3, los registrados en marzo del 2005, junio del 2007, mayo del 2017 y mayo del 2020, son las crecidas más grandes de río Yanuncay en los últimos 15 años.

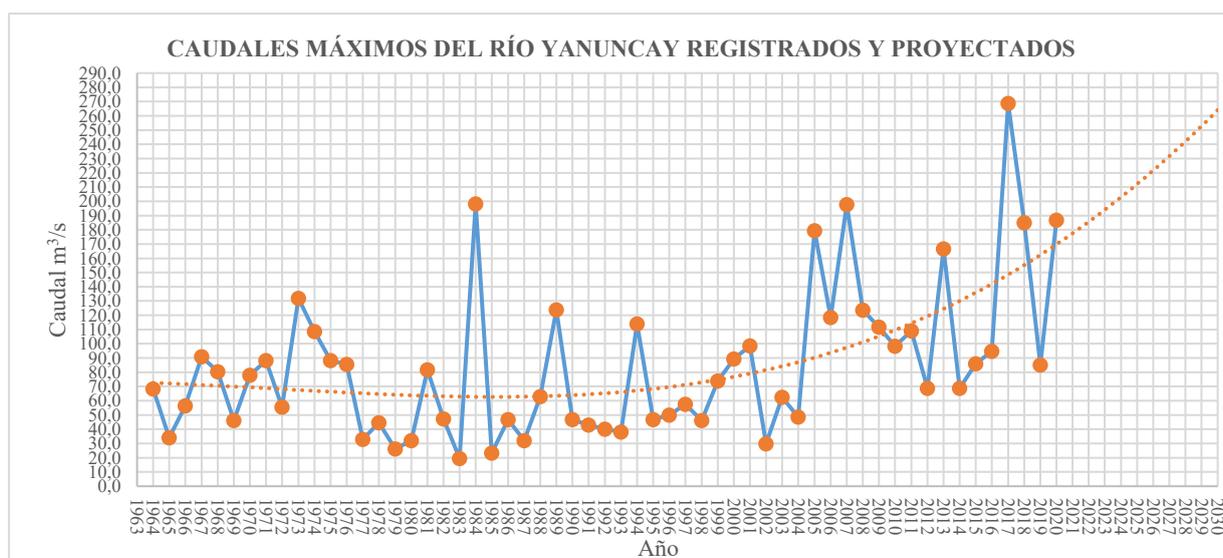
Tabla 6.3. Las cinco crecientes más grandes del río Yanuncay en los últimos 15 años.

<i>Evento</i>	<i>Fecha</i>	<i>Caudal (m³/s)</i>	<i>Ranking</i>
<i>1</i>	9/3/2005	179.40	4
<i>2</i>	14/6/2007	197.70	2
<i>3</i>	21/6/2007	179.35	5
<i>4</i>	14/5/2017	250.69	1
<i>5</i>	2/5/2020	186.70	3

Fuente: ETAPA EP (2021).

Las crecidas del río se van produciendo con más frecuencia a lo largo de los años, como se puede ver en la gráfica 6.1. Han existido años en los que se han generado grandes cantidades de agua, así como periodos de estiaje y si sigue así, por medio de una extrapolación con los datos obtenidos de ETAPA EP (2021) se visualiza que podrían existir años en los cuales podrían rebasar los 260 m³/s, por lo cual la construcción de la presa permitirá que el embalse pueda retener las inundaciones que se generaran en años futuros.

Grafica 6.1. Caudales máximos del río Yanuncay y caudales visualizados hasta el año 2030.

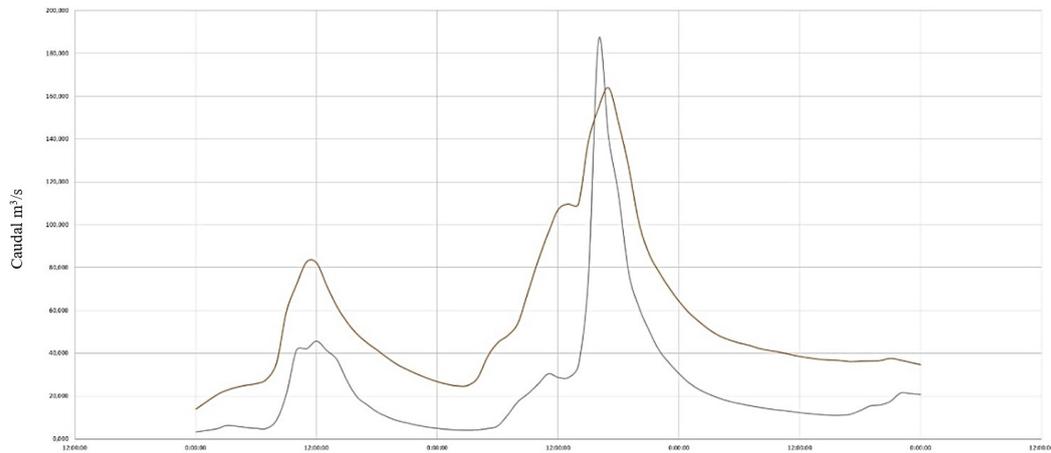


Fuente: ETAPA EP (2021)

De acuerdo con información de la red hidrometeorológica de ETAPA (Gráfica 6.2), el día 3 de mayo en pocas horas el caudal de los ríos de Tomebamba y Yanuncay crecieron drásticamente alcanzando caudales superiores a los 160 m³/s y el 8 de mayo de 2021 (Gráfica 6.3), el río Yanuncay poseía un caudal de 18 m³/s pero se fue elevando hasta alcanzar un caudal de 85 m³/s, lo cual ya se lo considera riesgoso para la ciudadanía. Pero comparado al río Machángara el cual posee 2 embalses, en esa fecha no rebasó los 25 m³/s, permaneciendo con un caudal inferior que no representó ningún riesgo.

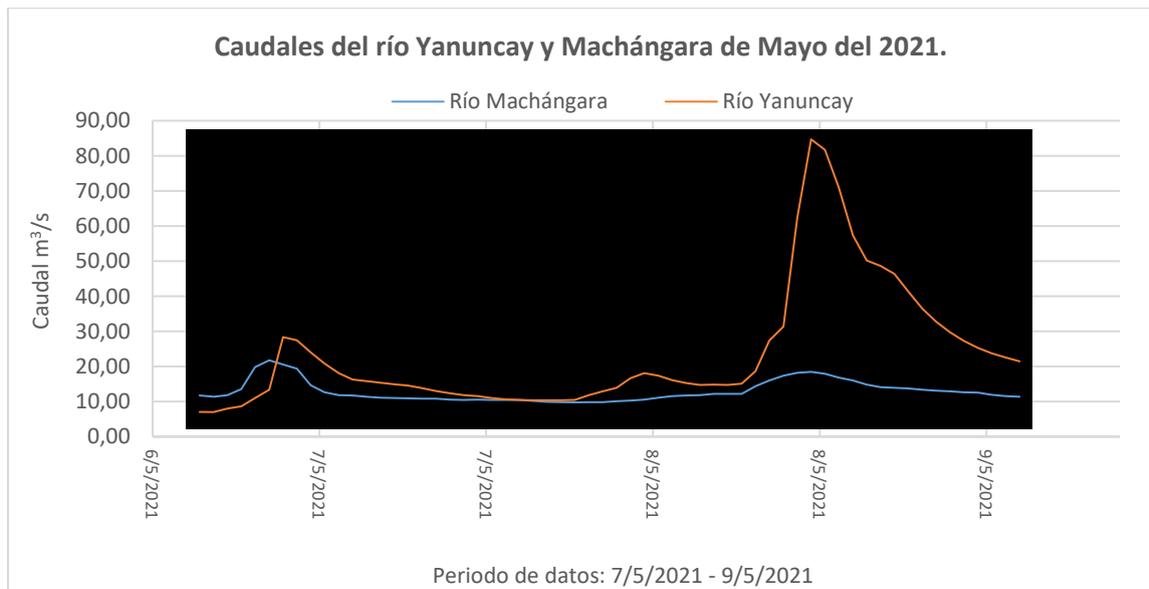
Con respecto al control de las inundaciones (regulación del caudal). Representaría una regulación similar al del Machángara, el cual amortigua la crisis en épocas de estiaje y en invierno.

Gráfica 6.2. Creciente de los ríos Tomebamba y Yanuncay el 3 de mayo del 2020.



Fuente: ETAPA EP (2021).

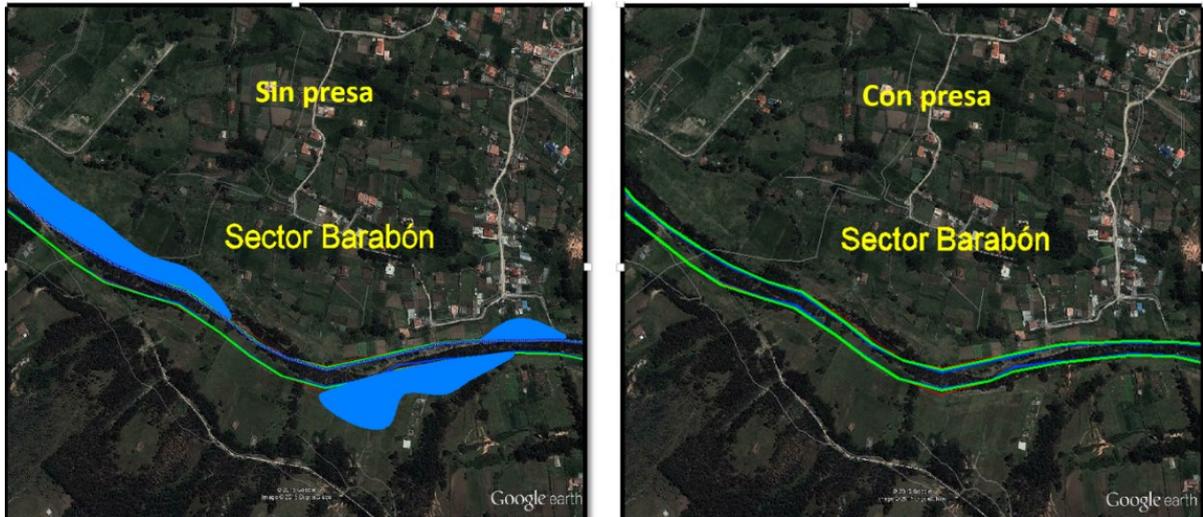
Gráfica 6.3. Caudales del río Machángara y Yanuncay generados en época de lluvia.



Fuente: ETAPA EP (2021).

En la ilustración 6.9 se muestra una simulación realizada por PROMAS (2010) de cómo se disminuiría los riesgos por inundaciones debido al crecimiento del río Yanuncay en el sector de Barabón, con la implementación de la presa Quingoyacu.

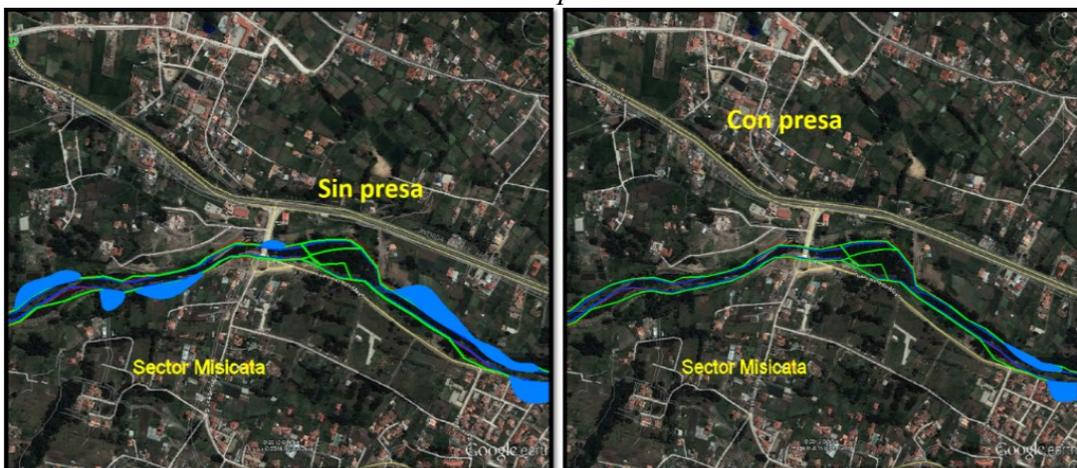
Ilustración 6.9. Simulación de escenarios inundados sector Barabón: Sin presa y con presa.



Fuente: ElecAustro (2021).

Así mismo en el sector de Misicata se disminuiría las zonas inundadas, en la ilustración 6.10 se muestran las áreas aledañas al río las cuales ya no se inundarían y no causarían preocupación a los pobladores que viven cerca del río (PROMAS, 2010).

Ilustración 6.10. Simulación de escenarios inundados sector Misicata: Sin presa y con presa.



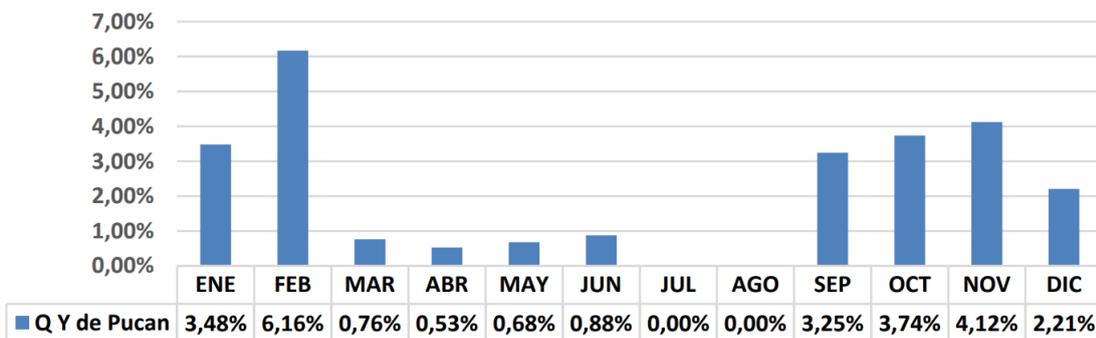
Fuente: ElecAustro (2021).

6.5.2. Garantizar el caudal de agua para la planta de potabilización de Sustag

La actual planta potabilizadora de Sustag, perteneciente a ETAPA EP, utiliza las aguas del río Yanuncay para su tratamiento, con una capacidad actual de 460 l/s, debiendo ampliarse a 690 l/s en el futuro.

Basados en la información hidrológica levantada en el estudio de factibilidad del proyecto múltiple Soldados – Yanuncay, con resolución diaria, se ha determinado la probabilidad, para cada mes del año, de que la planta potabilizadora no disponga de 690 l/s (ElecAustro, 2020), obteniéndose los resultados que se indican en la gráfica 6.4.

Grafica 6.4. Probabilidad que el caudal en la obra de toma de la Planta de Sustag sea menor que su caudal de diseño (690 l/s)



Fuente: ElecAustro (2020).

Como se puede observar, de los 12 meses del año, solamente en los meses de julio y agosto no existe riesgo de desabastecimiento, presentándose los mayores riesgos en los meses de enero, febrero y septiembre a diciembre de cada año. Se debe observar, que al presentarse estos eventos de un flujo menor a los 690 l/s, la planta potabilizadora utilizaría todo el recurso disponible, disminuyendo sustancialmente el caudal aguas abajo de la obra de toma, afectando, posiblemente, la calidad de la vida acuática del río, por lo que, si se desearía mantener condiciones adecuadas para preservar la vida acuática, la condición para la determinación de las probabilidades debería ser que el caudal sea menor a 690 l/s más el caudal ecológico estimado como el 10 % del caudal medio multianual (594 l/s).

El caudal medio del río Yanuncay es de 4.820 l/s, pero en periodos de escasez se reduce sensiblemente y en los próximos años ya no habrá recurso para cubrir la demanda de agua potable en la planta de tratamiento de agua de Sustag, riego y conservación de especies acuáticas o caudal ecológico (ELECAUSTRO, 2021).

En la siguiente tabla se muestra cuanto es el caudal que produce el río Yanuncay en épocas de estiaje y como se distribuye.

Tabla 6.4. Descripción del caudal a utilizar en épocas de estiaje del río Yanuncay.

<u>Q estiaje: Caudal del río Yanuncay en estiaje:</u>	<u>890</u>	<u>l/s</u>
Requerimientos		
· <i>Q potabilización: Caudal potabilizado en Sustag:</i>	460	l/s
· <i>Q ampliación PTAP Sustag</i>	230	l/s
· <i>Q ecológico: Caudal ecológico, determinación de ETAPA:</i>	440	l/s
· <i>Q riego: Caudales para riego de la zona:</i>	282	l/s
TOTAL	<u>1412</u>	<u>l/s</u>
Déficit		
<u>Déficit para cubrir caudal requerido en Sustag:</u>	<u>522</u>	<u>l/s</u>

Fuente: ElecAustro (2020).

Solución

El déficit actual de 522 l/s en los veranos, se incrementará ostensiblemente los siguientes años por el deterioro de la cuenca y el cambio climático si no se construyen obras de regulación en la cuenca alta.

6.5.3. Contribuir a satisfacer el incremento de la demanda de energía eléctrica

Mediante la producción de energía renovable de acuerdo al Plan de Desarrollo Territorial y al crecimiento urbano que se registra en la ciudad de Cuenca, el fluido eléctrico del sur de la ciudad registra el menor porcentaje de asignación energética, al fortalecer la dotación de energía limpia en la subestación de Turi de propiedad de la Regional Centro Sur, se estará fortaleciendo y brindado las condiciones energéticas adecuadas para el desarrollo de esta zona que registra vulnerabilidad en el servicio.

- Disminuir las emisiones anuales de CO₂ en aproximadamente 54.000Ton.

Ya que la generación de energía limpia que producen estas dos centrales, no requiere la quema de combustible fósil causante del efecto invernadero con el consecuente cambio climático, aportando así al cambio de la matriz energética del país.

- El proyecto hidroeléctrico Soldados-Yanuncay garantizará agua hasta el año 2050.

El caudal medio del río es de 4.820 l/s, pero en estiaje se reducen a 890 l/s, lo que implica que en los próximos años ya no se contarán con el recurso para cubrir demanda de agua potable en la planta de potabilización de Sustag, riego y preservación de especies acuáticas o caudal ecológico que se estima en 440 l/s, produciéndose un déficit de 492 l/s en estiaje; lo que implica que es de suma importancia contar con un embalse de regulación en la cuenca alta del río Yanuncay con su correspondiente represa Quingoyacu.

6.5.4. Una represa como alcancía para almacenar las monedas ahorradas

La represa tiene por objetivo crear un embalse para almacenar el recurso hídrico de la cuenca durante el periodo de lluvias, que luego será utilizada durante el periodo de estiaje en la generación de energía, así como también, para mejorar o incrementar la disponibilidad de agua para consumo doméstico. Adicionalmente, a los beneficios indicados, el embalse permitirá el control de los caudales de avenida, disminuyendo así, los riesgos de inundación. En la ilustración 6.11 se visualiza como una presa va guardando agua para ser utilizada en los periodos de estiaje, el ahorro del agua es la base principal para la estabilidad de las familias, es como guardar una parte del ingreso mensual para gastos a futuro, es la forma más inteligente de asegurar que se podrá cubrir cualquier emergencia

Ilustración 6.11. Presa donde se guarda metros cúbicos de agua para el estiaje



Fuente: Autor.

6.5.5. Caudal ecológico

La regulación a construirse en Quingoyacu con un volumen útil de 21 millones de m³ de capacidad y la planificación operativa prevista permitirá mantener los caudales ecológicos a lo largo del río y la demanda de caudales para riego en la actividad agrícola y ganadera a lo largo del río en las cuencas alta, media y baja y durante todo el año.

Se ha determinado que el caudal ecológico que deberá mantenerse aguas abajo de los sitios de captación del Aprovechamiento Hidroeléctrico Soldados - Yanuncay, para que asegure la conservación del hábitat, mediante la aplicación de una metodología que considere las variables hidrobiológicas, respetando los usos de agua existentes, destacando que el caudal ecológico considerado, superará en alrededor de un 10% al caudal natural registrado en la época de estiaje (CESEL, 2012) . El caudal ecológico determinado en los diferentes sitios de captación se muestra en la siguiente tabla 6.5:

Tabla 6.5. Caudales ecológicos del río Yanuncay.

<i>Item</i>	<i>Presa</i>	<i>Captación</i>	<i>Captación</i>	<i>Captación</i>
	<i>Quingoyacu</i>	<i>Yanuncay</i>	<i>Galgal</i>	<i>Ishcayrumi</i>
	l/s	l/s	l/s	l/s
<i>Caudal Ecológico</i>	150.0	200.0	50.0	60.0
<i>Usos de agua (concesiones)</i>	0.0	183.8	12.8	0.0
<i>Caudal ecológico + Usos antrópicos</i>	150.0	377.8	62.8	60.0
<i>Caudal Mínimo estimado de Operación</i>	230.0	410.0	62.8	60.0

Fuente: CESEL (2012).

6.6. Ordenar la cuenca, construir obras de regulación

La subcuenca del Yanuncay se ve amenazada por una mala gestión de sus recursos naturales, ecosistema de alta fragilidad, transformaciones originadas por actividades antrópicas, generando cambios en el uso de suelo, siendo imperioso un plan de manejo integral para el uso de esta cuenca hidrográfica, generando una propuesta de conservación integral de los recursos con los que cuenta, la participación de los pobladores, enfatizando en las potencialidades y considerando su fragilidad y vulnerabilidad al cambio climático al ser de una extensión de tan solo 416 Km².

Por lo cual se conformo el Comité de Conservación de la cuenca del río Yanuncay, que se constituye por la voluntad de las instituciones del sector público, privado y comunitario, en razón de sus competencias a fin de contribuir en la protección y conservación de los recursos naturales de la cuenca del río Yanuncay, para la gestión integral de los recursos hídricos de acuerdo con la Constitución y la Ley, tomando como ejemplo el comité de conservación de la cuenca del río Machángara.

El Comité de Conservación de la cuenca del Río Yanuncay, tendrá, los siguientes fines específicos:

- a) Promover la gestión integral del recurso hídrico en la cuenca media y alta del río Yanuncay;
- b) Propiciar acciones para un uso adecuado del suelo, en base a la vocación del suelo de la cuenca;
- c) Coordinar el uso responsable del recurso hídrico en la cuenca;
- d) Difundir estrategias de manejo comunal institucional de los recursos naturales de la cuenca del Yanuncay;
- e) Canalizar acuerdos entre los miembros del Comité, así como con los actores comunitarios y locales del río Yanuncay, para la implementación de estrategias que posibiliten la conservación de la cuenca;
- f) Impulsar la formación de redes de integración que potencien y fortalezcan las interacciones entre las organizaciones y actores que tienen interés en la conservación de la cuenca del Yanuncay, a fin de conjugar esfuerzos y evitar duplicidad de funciones en las áreas técnicas, administrativas y logísticas, conforme a las políticas emitidas por los órganos estatales competentes.

- g) Articular la gestión integrada de los diferentes actores presentes en el territorio, manteniendo los roles y responsabilidades de cada uno, coadyuvando para la consecución de los objetivos comunes en beneficio de la gestión integrada de la cuenca.
- h) Aportar a la gestión integrada de sus ecosistemas y de las diferentes estrategias de conservación que estén o se establezcan en la cuenca del Río Yanuncay, garantizando su estado de conservación.

El Comité de Conservación de la Cuenca del Río Yanuncay se conforma de las siguientes instituciones que son:

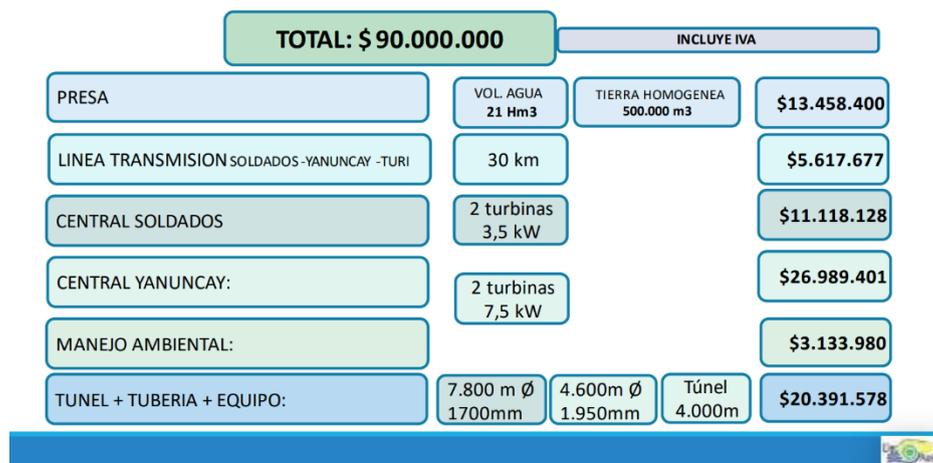
- La Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua potable, Alcantarillado y Saneamiento de Cuenca - ETAPAEP;
- La Universidad del Azuay- UDA
- La Empresa Electro Generadora del Austro- ELECAUSTRO S.A.;
- El Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica- MAATE;
- El Ministerio de Agricultura y Ganadería- MAG;
- El Gobierno Autónomo Descentralizado de la Parroquia Baños;
- El Gobierno Autónomo Descentralizado de la Parroquia San Joaquín; y,
- El Gobierno Autónomo Descentralizado de la Parroquia Chaucha.

6.7. Costo del proyecto Soldados-Yanuncay

El costo del Proyecto Hidroeléctrico Soldados-Yanuncay es de \$ 90 millones los cuales se dividen de la siguiente manera (Ilustración 6.12):

- Presa: \$ 13.458.400
- Central Soldados: \$11.118.128
- Central Yanuncay: \$26.989.401
- Línea de transmisión (Soldados-Yanuncay-Turi): \$5.617.677
- Manejo Ambiental: \$3.133.980
- Tunel+Tuberia+Equipo: \$20.391.578

Ilustración 6.12. Costos del PHSY



Fuente: ElecAustro (2021).

6.8. Cronograma de ejecución de obras

El cronograma comprende la ejecución de las obras civiles, el suministro y montaje equipamiento hidromecánico, la ejecución de las obras electromecánicas, así como el Plan de Manejo Ambiental hasta la puesta de servicio y entrega de obra.

Tabla 6.6. Cronograma del PHSY

CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN DEL PHSY	
Actividades a ejecutar	Tiempo de ejecución
<i>Vías permanentes lastradas - 16 km</i>	12 meses
<i>Presa de Quingoyacu</i>	20 meses
<i>Central Hidroeléctrica Soldados</i>	29 meses
<i>Central Hidroeléctrica Yanuncay</i>	29 meses

Fuente: ElecAustro (2021).

Por consiguiente, dependiendo de la estrategia constructiva que finalmente adopte ELECAUSTRO, el plazo mínimo de construcción sería de aproximadamente 30 meses, si se decide implementar el proyecto integral, iniciando los tres componentes al mismo tiempo.

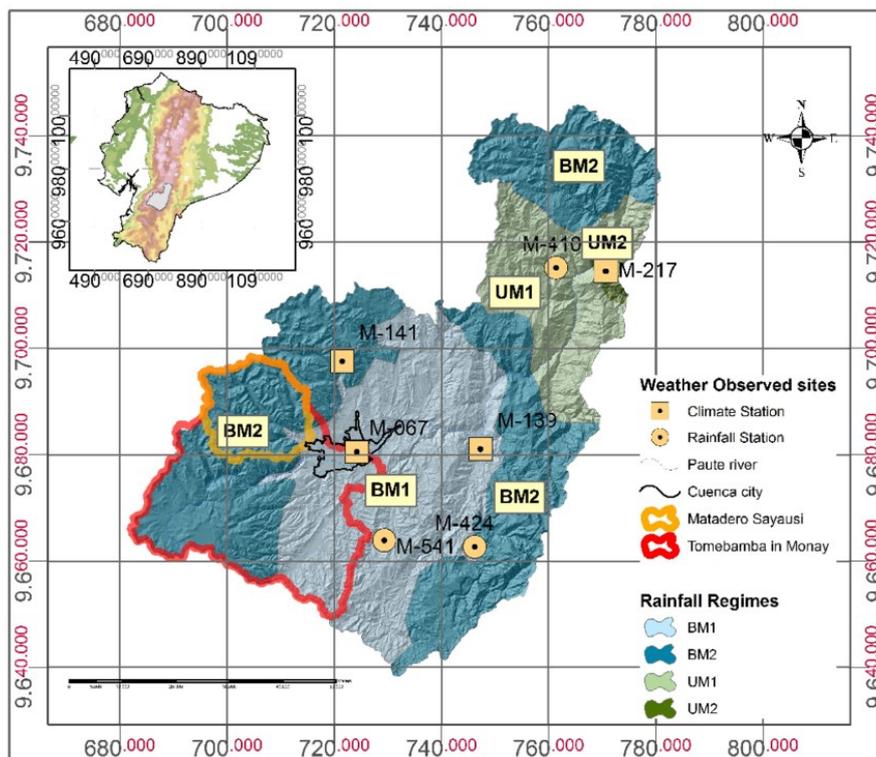
Capítulo 7: Cuencas no reguladas y cuenca regulada en Cuenca-Azuay

7.1. Cuenca del río Paute

7.1.1 Características geográficas de la cuenca del Paute

La cuenca del río Paute se ubica en la Cordillera de los Andes cubriendo un área de aproximadamente 6.439 km² hasta la desembocadura del río Upano, con una pendiente de 25-50%. Los relieves superiores son montañosas, seguidas de relieves pronunciados que indican las regiones media e inferior de la cuenca. Se encuentra ubicada en las provincias de: Azuay (79,48 %), Cañar (30,60 %), Chimborazo (9,0%) y Morona Santiago (5,20 %). Se ubica entre las coordenadas (UTM WGS84 17S 715126; 9681582) y forma parte de la cuenca del Río Santiago, la cual limita con misma la cuenca del río Morona al oeste, las cuencas de los ríos Catamayo-Chira y Mayo al sur, con las del río Jubones, Cañar, Balao y Catamayo-Chira al este y con los ríos Guayas y Pastaza al norte (Ilustración 7.1) (CELEC EP & CTOTAL Cía. Ltda, 2012).

Ilustración 7.1. Mapa político de la cuenca del río Paute.



Fuente: Mora (2014).

La altura de la cuenca va en su extremo oeste desde los 4.300 hasta la unión con el río Upano a los 500 m.s.n.m. La red de drenaje superficial de la Central Hidroeléctrica Paute Molino está formada por los ríos:

Cuenca Alta:

- Cuenca del río Tarqui, con sus afluentes: Chaparro, Cumbe, Portete, Tutupali y Shucay.
- Cuenca del río Yanuncay y sus afluentes: Sigsihuaycu, Bermejós y Chico Soldado.

- Cuenca del río Machángara y sus afluentes Chulco y Chaquilcay.
- Cuenca del río Matadero (Tomebamba) con sus afluentes: Mazán, Llaviucu y Culebrillas.
- Cuenca del río Sidcay.

Cuenca Media:

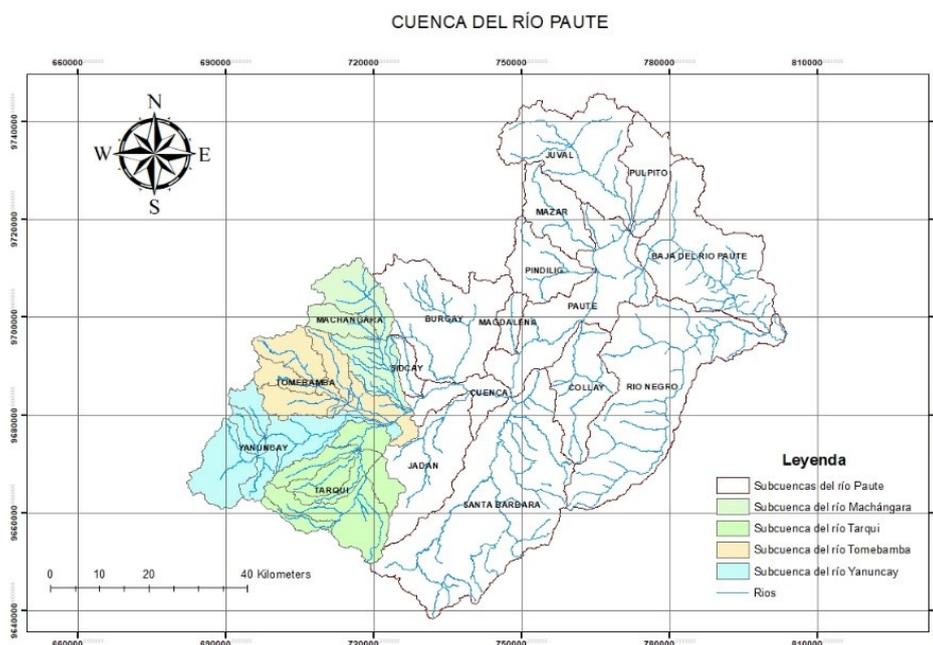
- Cuenca del río Burgay, formado por los ríos Tambo y Galuay y sus afluentes el río Tabacay y Déleg.
- Cuenca del río Jadán formado por los ríos, Chordeleg, Quingeo y Maluay.
- Cuenca del río Gualaceo, formado por los ríos Pamar (Bolo) y Santa Bárbara y sus afluentes, Zhío, San Francisco y San José.

Cuenca Baja:

- Cuenca del río Collay.
- Cuenca del río Dudas, y su afluente el Macas.
- Cuenca del río Cutilcay (Magdalena).
- Cuenca del río Mazar.
- Cuenca del río Pulpito.
- Cuenca del río Pindilig.
- Cuenca del río Juval.

Así la cuenca del río Paute consta de subcuencas hidrológicas que cubren una superficie aproximada de 6.439 km² (Ilustración 7.2).

Ilustración 7.2. Mapa de la cuenca del río Paute con las subcuencas.



Fuente: Autor

Las características geográficas de las subcuencas que contribuyen al embalse de Amaluza se muestran en la Tabla 7.1 a continuación. La altura media va desde 2.635 m.s.n.m en la

subcuenca de Cuenca hasta 3.668 m.s.n.m en la cuenca de Juval, con un valor medio de 3.156 m.s.n.m.

La pendiente promedio es de 19.52% en esta zona de la cuenca del río Paute, con un valor máximo de 28,9% y un mínimo de 13.9% en las cuencas de Pulpito y Sidcay (Cordero , (2013).

Tabla 7.1. Cuadro de áreas por subcuencas del Paute.

SUBCUENCAS DEL RÍO PAUTE	ÁREA	ÁREA RESPECTO AL TOTAL DE LA CUENCA DEL PAUTE
	Km²	%
CUENCA ALTA		
YANUNCAY	418.89	6.50
TOMEBAMBA	380.41	5.91
MACHANGARA	325.45	5.05
TARQUI	476.29	7.39
SIDCAY	43.29	0.67
TOTAL	1,644.33	25.52
CUENCA MEDIA		
BURGAY	447.04	6.94
CUENCA	120.29	1.87
SANTA BARBARA	952.53	14.79
JADAN	297.51	4.62
TOTAL	1,817.37	28.22
CUENCA BAJA		
JUVAL	427.33	6.63
PULPITO	169.21	2.63
MAZAR	165.77	2.57
PINDILIG	168.27	2.61
PAUTE	447.12	6.94
MAGDALENA	50.81	0.79
COLLAY	239.36	3.72
BAJA DEL RÍO PAUTE	510.14	7.92
RÍO NEGRO	802.23	12.45
TOTAL	2,980.24	46.26
TOTAL DE LA CUENCA DEL RÍO PAUTE	6,441.94	100.00

Fuente: Cordero , (2013).

La cuenca del Paute se puede dividir en dos zonas bien diferenciadas:

- **La parte occidental y central de la cuenca.** - Aguas arriba de la confluencia de los ríos Paute y Gualaceo. En la cuenca alta posee un paisaje de paramo y bosques primarios con relieves atenuados. Los ríos fluyen en valles estrechos con laderas arborizadas de eucaliptos y pinos, mientras que las orillas son utilizadas como pastizales. La zona baja y central de la cuenca corresponde en gran parte de la aglomeración de la ciudad de Cuenca, los ríos están fuertemente antropizados por la urbanización y los cultivos (Urgilés Calle, (2015).
- **La región oriental.** - Constituida por los ríos Gualaceo, Collay y por pequeños afluentes aguas abajo de la confluencia del Gualaceo y el Paute. En la parte aguas arriba, igualmente de elevada altitud, el páramo deja sitio al bosque primario tropical, degradado por la altitud con presencia de líquenes, bromeliácea. Sus características se aproximan a las cuencas amazónicas, poco habitadas y de difícil acceso (Gonzalo Sotomayor , 2016).

7.1.2 Características hidrometeorológicas y climáticas del Paute

Con respecto al clima, la precipitación varía intensamente según la posición geográfica, por ejemplo, el mínimo de lluvias anuales se presenta en el sur de la cuenca del Paute es de 600 mm y el máximo en la región oriental de 3.000 mm, que tiene marcada la influencia amazónica (INAMHI, 2019).

La temperatura media oscila entre los 8°C en las zonas de Soldados, Cajas y Saymirin, hasta los 30°C en la zona de Sopladora; así mismo la humedad relativa es muy variable dependiendo de la subcuenca, no obstante, su promedio fluctúa alrededor del 90%. Por su situación de cuenca interandina, la región del Paute está por consiguiente sujeta a diferentes influencias climáticas.

Las masas del aire amazónico provocan lluvias durante todo el año, con un máximo entre junio y agosto, mientras que el período más seco llega, casi siempre, desde noviembre hasta febrero. Esta parte de la cuenca se extiende en toda la zona oriental de la misma, es decir en la parte norte la región del Collay y el páramo arriba de Gualaceo.

7.1.3 El río Paute una prioridad nacional

La microcuenca del Río Paute tiene importancia estratégica para el Ecuador, puesto que en ella se encuentra la central hidroeléctrica Paute Amaluzá con 1,033 MW. A ella se sumarán otras centrales hidroeléctricas que conformarán el complejo hidroeléctrico Paute Integral (Mazar, 180 MW; Sopladora, 360 MW; Cardenillo, 360 MW) (CENACE, (2010).

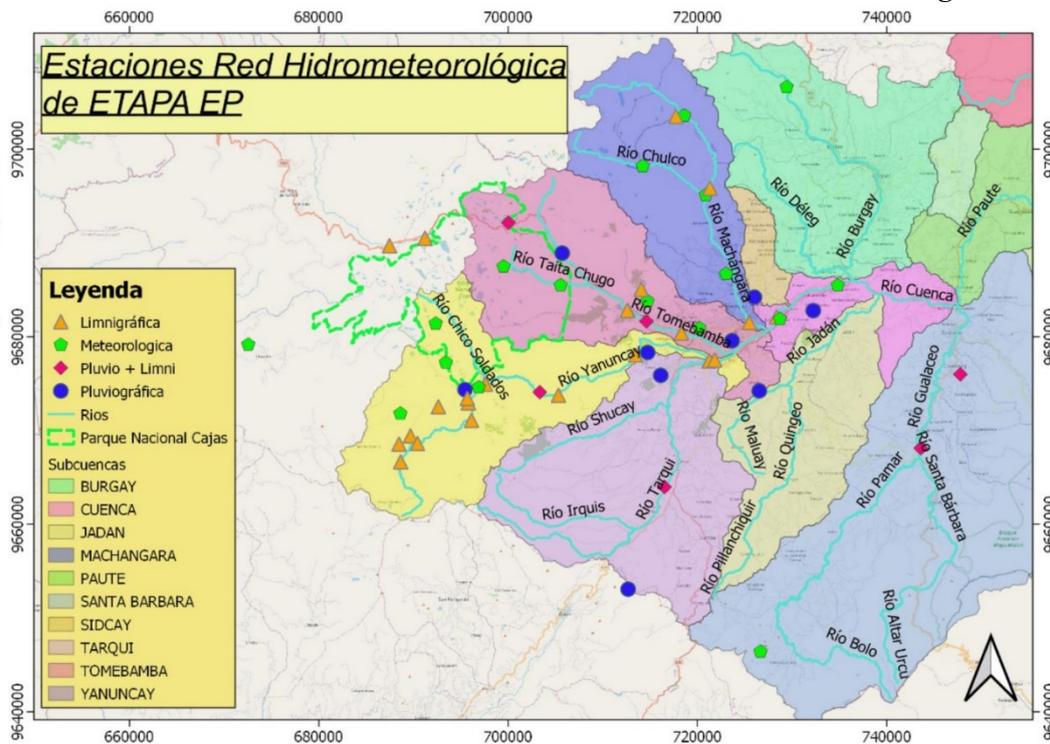
Un importante 51% del territorio de la cuenca goza de algún nivel de protección ambiental. Veinte por ciento del área del Parque Nacional Sangay (102.300 Hectáreas de un total de 502.300) y dos terceras partes del Parque Nacional Cajas (19.200 de 29.400 Hectáreas) están dentro del territorio de la cuenca, a más de 22 bosques protectores que abarcan un total de 209.700 Hectáreas (Gonzalo Sotomayor , 2016).

7.2. Las subcuencas de la ciudad de Cuenca.

7.2.1. Red hidrometeorológica de las subcuencas de Cuenca

Dentro de la cuenca del río Cuenca existen varias estaciones con información instantánea y diaria. Esta red está compuesta por estaciones hidrológicas, meteorológicas y pluviométricas ubicadas en las 4 subcuencas de los principales ríos que pasan por la ciudad. Las estaciones son automáticas y cuentan con sistemas de transmisión de datos, lo que permite el monitoreo constante de los caudales de los ríos y las precipitaciones generadas sobre sus áreas de recarga (Ilustración 7.3) (Urgilés Calle, 2015).

Ilustración 7.3. Distribución de las estaciones hidrometeorológicas.



Fuente: ETAPA EP (2021).

7.2.2. Análisis de las lluvias registradas en las cuatro cuencas.

a) Precipitaciones máximas producidas en 24 horas en los cuatro ríos

Se presenta la recopilación y procesamiento de las lluvias máximas 24 horas en cada estación relacionada a los cuatro ríos de cuenca (Tabla 7.2).

Tabla 7.2. Precipitaciones máximas 24 horas.

Precipitaciones Máximas en 24 horas									
Año	Machángara Chulco	Machángara Huagrahuma	Machángara Labrado	Tarqui Portete	Tarqui en Cumbre	Tomebamba Marianza	Tomebamba Matadero en Sayausí	Yanuncay en Cáncan	Yanuncay en Pucán
1997	-	-	-	32.5	32.5	-	49.0	31.0	33.0
1998	-	-	-	57.0	49.5	-	49.0	28.0	32.0
1999	-	-	-	44.5	36.0	-	47.5	28.5	43.5
2000	-	-	-	36.5	32.0	-	49.0	28.0	36.0
2001	28.0	52.2	30.5	57.5	35.5	-	36.0	27.5	29.5
2002	35.0	39.6	27.5	43.5	26.0	-	40.0	29.5	29.5
2003	44.0	44.0	38.5	40.0	29.0	-	59.0	33.0	27.5
2004	61.0	53.2	44.0	59.5	31.0	33.8	40.0	31.5	15.5
2005	35.5	37.8	37.0	43.0	52.5	36.6	48.0	30.0	27.5
2006	40.5	38.2	37.0	53.5	36.5	31.8	37.5	29.0	31.5
2007	42.0	61.2	39.5	47.0	36.5	34.8	42.5	26.0	30.0
2008	48.0	34.0	38.0	34.5	0.5	30.5	38.0	31.5	27.5
2009	52.0	38.0	31.5	40.0	33.5	25.1	73.0	27.5	28.5
2010	41.0	29.2	-	51.5	33.5	48.3	56.0	33.0	32.0
2011	50.5	50.0	-	71.0	43.0	32.6	37.0	35.0	47.0
2012	39.0	26.0	-	62.0	28.0	31.0	43.5	30.5	32.0
2013	22.5	39.8	-	29.5	32.5	35.8	65.5	29.5	26.5
2014	36.0	35.6	-	-	-	47.0	56.0	-	41.5
2015	35.0	45.6	-	-	-	26.6	39.9	-	35.5
2016	40.0	-	-	-	-	-	36.5	-	23.2

Fuente: Urgilés Calle, (2015).

De los resultados presentados se destacan los siguientes valores máximos registrados en el período analizado:

- ✓ Subcuenca del río Tomebamba-Matadero-Sayausí el valor fue de 73 mm en el año 2009.
- ✓ Subcuenca del río Tarqui-Portete el valor máximo fue de 71 mm en el año 2011.
- ✓ Subcuenca del río Machángara, estación Huagrahuma el valor máximo de precipitación 24 horas fue de 61,2 mm en el año 2007.
- ✓ Subcuenca del río Yanuncay el valor fue de 47mm en el año 2011, estación Pucán.

b) Precipitaciones mensuales y total anual

Se presenta a continuación (Tabla 7.3) los registros promedios de lluvia en estaciones características de las cuatro cuencas y el total de lluvias acumulado. Se destacan algunos resultados interesantes:

- ✓ Los meses de mayores lluvias en las cuatro cuencas son marzo, abril y mayo, por el contrario, los de menores precipitaciones son los meses de julio, agosto, septiembre. Sin embargo, también se observan lluvias significativas en octubre, noviembre y diciembre.

- ✓ La cuenca con mayor lluvia anual y mensual es la del Machángara según la estación Saucay, con un registro máximo mensual de 159 en el mes de abril.
- ✓ El Tomebamba presenta meses lluviosos extremos con 1149,5 mm en abril.
- ✓ En la cuenca del Yanuncay en los meses de marzo y abril se tienen registros mensuales de 119,7 mm y 114,5 mm.

Tabla 7.3. Precipitaciones mensuales y total anual por cuenca hídrica

PRECIPITACIONES MENSUALES													
ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Tomebamba Matadero en Sayausí	80.1	112.3	127.7	149.5	114.8	73.5	42.8	29.5	58.5	96.5	88.1	112.5	1,085.8
Tomebamba en Ucubamba (centro de Cuenca)	61.5	89.6	128.5	119.9	77.2	52.3	30.8	18.8	44.4	78.1	93.8	101.6	896.5
Yanuncay en Cancán	76.9	105.4	104.6	101.2	91.0	68.9	42.2	31.9	47.3	70.9	82.8	96.6	919.7
Yanuncay en Pucán	75.3	92.9	119.7	114.5	110.7	80.7	55.2	41.7	59.5	71.3	79.3	85.3	986.1
Tarqui en Cumbe	54.3	72.9	111.7	109.0	95.3	58.5	33.3	20.7	51.3	70.6	76.3	71.6	825.5
Tarqui en Portete	107.3	144.0	162.3	152.8	94.0	73.3	50.6	30.4	48.2	58.1	77.3	108.4	1,106.7
Machángara en Saucay	115.0	128.0	148.0	159.0	137.0	106.0	76.0	59.9	70.0	126.8	151.1	138.0	1,414.8
Machángara Labrado	96.3	113.9	136.0	150.1	117.6	104.3	96.7	77.7	83.3	104.8	106.2	100.9	1,287.8
Biblian	46.7	75.8	94.5	103.3	71.6	43.5	39.4	38.8	45.0	80.4	85.4	82.0	806.4
Cumbe	42.8	58.8	77.0	84.8	61.3	51.1	34.2	31.2	35.1	62.2	62.4	57.2	658.1
PROMEDIO	75.6	99.4	121.0	124.4	97.1	71.2	50.1	38.1	54.3	82.0	90.3	95.4	

Fuente: ETAPA EP (2021).

c) Precipitaciones esperadas para diferentes períodos de retorno

En la tabla 7.4 se presenta las precipitaciones esperadas en los ríos de Cuenca, para diferentes períodos de retorno de 5 hasta 100 años.

Tabla 7.4. Precipitaciones máximas 24 horas y media anual para periodos de retorno.

Estación	Precipitación máxima 24hr y Precipitación media anual en mm					
	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	Media anual
Chanlud	44.5	49.5	55.8	60.5	65.1	1,526.3
Labrado	39.6	42.6	46.4	49.3	52.1	1,227.4
Matadero Sayausí	55.2	61.4	69.2	75.0	80.7	1,044.7
Portete	55.6	62.3	70.9	77.2	83.5	1,052.6
Tarqui en Cumbe	40.9	45.1	50.3	54.3	58.1	790.2
Ucubamba en ETAPA	57.4	64.2	72.6	78.9	85.2	859.9

Yanuncay en Cancán	31.6	33.0	34.8	36.1	37.3	885.2
Yanuncay en Pucán	36.1	40.1	45.1	48.9	52.6	852.2
Cumbe	37.5	43.7	51.6	57.4	63.2	613.7
Machángara Huagrahuma	48.5	57.0	61.0	66.2	71.4	1,365.7
Tomebamba Marianza	39.5	43.6	48.8	52.7	56.5	1,062.7
Ningar	43.8	54.2	67.4	77.2	86.9	954.3

Fuente: Urgilés Calle, (2015).

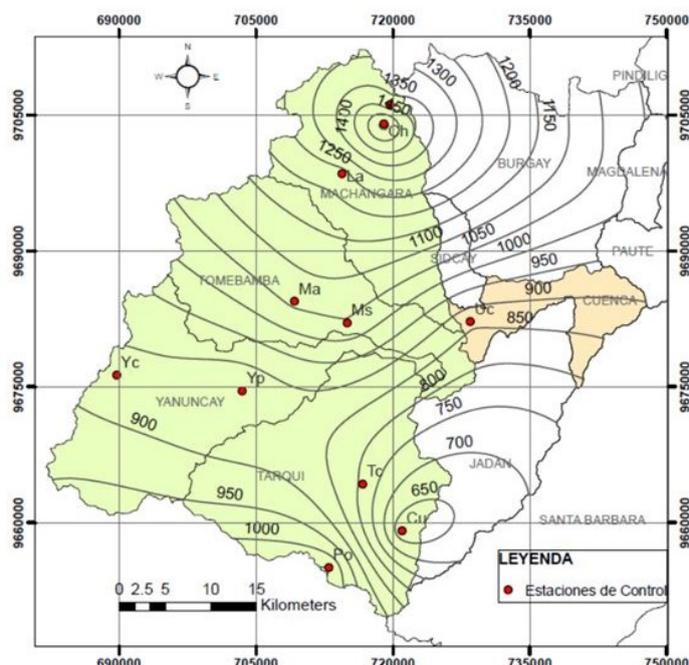
Los resultados de mayor interés se comentan a continuación:

- ✓ En la cuenca del Machángara se esperan mayores lluvias anuales en las estaciones de Chanlug, Labrado y Huagrahuma.
- ✓ Las lluvias de mayor intensidad se esperan en la cuenca del Tomebamba con 80,7 mm y del Tarqui-Portete con 83,5 mm.

d) Mapa de Isoyetas: En los mapas de Isoyetas se tiene la ubicación de las estaciones y las subcuencas delimitadas.

En la Ilustración 7.4 se tienen las Isoyetas generadas a partir de precipitación media anual en donde en la parte alta de la subcuenca del río Tarqui se tiene una precipitación anual de 650 mm y en la parte alta de la cuenca del río Machángara una precipitación media anual de 1.500 mm.

Ilustración 7.4. Isoyetas a partir de Precipitación media anual.

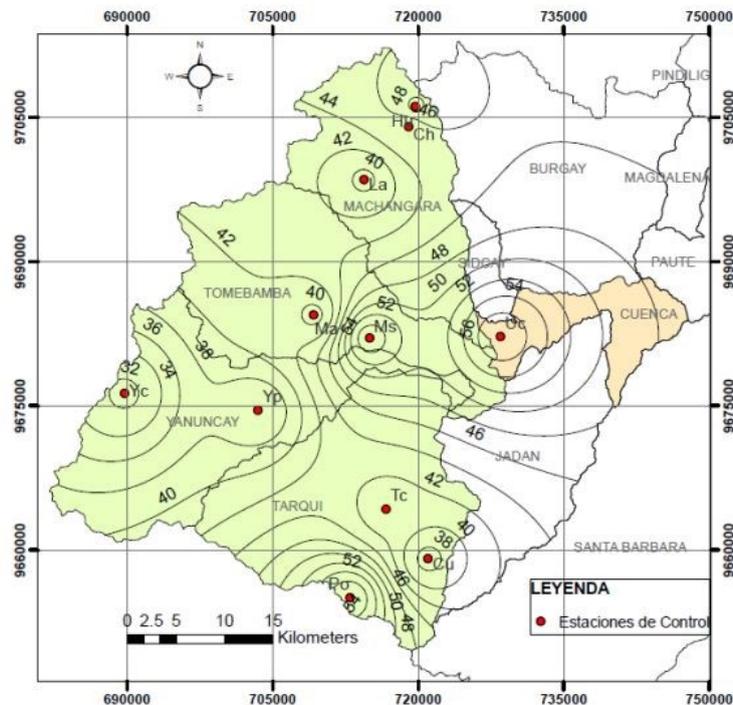


Fuente: Urgilés Calle, (2015).

En la ilustración 7.5 se muestra el mapa de Isoyetas para un tiempo de retorno de 5 años. En la parte alta del Yanuncay se encuentra una precipitación de 32 mm y en la cuenca del río Tarqui y en zonas antes de llegar a la ciudad una precipitación de 56 mm.

La precipitación va aumentando en las cuencas de los ríos de Yanuncay, Tomebamba y Tarqui debido a la disminución de la altitud, pero en la cuenca del río Tarqui se produce una disminución de la precipitación en la cota 2.600 m.s.n.m.

Ilustración 7.5. Isoyetas de precipitaciones para Periodo de retorno de 5 años.



Fuente: Urgilés Calle, (2015).

7.2.3. Caudales medios y mínimos en los cuatro ríos

Se presenta los caudales medios, mínimos y máximos de los ríos Tomebamba y Yanuncay, en el período 1997 al 2015. A partir de los registros de caudales de ETAPA EP (2021) y de (Burbano Abril, (2015) se completó la información hasta el año 2020 y se amplió a los ríos Machángara y Tarqui, obteniéndose los resultados que se presentan a continuación:

a) **Río Yanuncay:** Se presenta la tabla 7.5 de caudales mínimos, máximos y medios para las estaciones de Pucán y AJ Tarqui. Las observaciones más destacables se indican a continuación:

Tabla 7.5. Caudales mínimos, máximos y medios en el río Yanuncay en m³/s.

Año	SUB CUENCA DEL RÍO YANUNCAY					
	Estación Pucán			Estación AJ Tarqui		
	Qmín	Qmax	Qmed	Qmín	Qmax	Qmed
1997	0.83	57.60	6.05	1.29	43.76	8.67
1998	0.33	46.20	5.82	0.99	92.07	13,42

1999	0.72	74.00	16.20	1.13	89.93	18.00
2000	0.57	89.40	12.56	1.37	104.40	15,07
2001	0.48	98.50	7.28	1.13	106.80	8.11
2002	0.44	29.80	3.86	0.20	53.27	6.70
2003	0.44	62.50	4.08	0.99	92.07	13,42
2004	0.48	48.70	4.54	1.13	89.93	18.00
2005	0.48	179.40	5.74	1.37	104.40	15,07
2006	0.78	118.50	6.17	1.13	106.80	8.11
2007	0.96	197.70	10.09	0.20	53.27	6.70
2008	1.64	123.60	10.03	2.48	175.50	12,91
2009	0.69	111.77	5.16	0.61	152.00	8.36
2010	0.94	98.20	4.99	0.65	113.30	6.65
2011	1.34	108.95	8.72	0.90	152.00	10,36
2012	1.01	68.84	6.62	0.96	97.62	7.19
2013	0.54	166.67	6.62	0.33	166.70	5.78
2014	0.45	68.84	5.69	0.61	12.35	4,21
2015	0.81	85.95	6.95	0.98	30.40	4,89
2016	0.94	94.80	4.99	0.68	60.23	4,78
2017	1.34	268.75	8.72	1.17	52.90	6,37
2018	1.01	184.88	6.62	1.15	69.82	6,62
2019	0.54	85.00	6.62	0.38	24.33	4,54
2020	0.45	186.70	5.69	0.96	26.41	3,63
PROMEDIO			7.08			9.30

Fuente: Autor.

Aspectos a destacarse de los registros de caudales en el Yanuncay:

- ✓ El caudal medio del río Yanuncay en el período analizado, estación Pucán es de 7.08 m³/s y AJ con el río Tarqui es de 9,3 m³/s.
- ✓ Para la estación Pucán se tienen registros mínimos de 0,33 m³/s, 0,44 m³/s y 0,48 m³/s los cuales no podrían cubrir la demanda de agua potable en la planta de Sustag, usos de riego y caudales ecológicos que se estiman alrededor de 0,42 m³/s o 420 l/s.
- ✓ Para la estación AJ Tarqui se tienen registros mínimos de 0,20 m³/s, 0,33 m³/s y 0,61 m³/s los cuales no podrían cubrir la demanda de agua potable en la planta de Sustag, usos de riego y caudales ecológicos que se estiman alrededor de 0,42 m³/s ó 420 l/s.
- ✓ En la estación Pucán se tienen registros de caudal máximo igual a 197,7 m³/s correspondiente al año 2007 y caudales de 256 m³/s en el año 2018.

b) Ríos Tomebamba y Tarqui: Se presenta la tabla 7.6 de caudales mínimos, máximos y medios para las estaciones Tomebamba-Sayausí y Tarqui DJ Cumbe.

Tabla 7.6. Caudales mínimos, máximos y medios ríos Yanuncay y Tarqui m³/s.

Año	TOMBAMBA			TARQUI		
	Estación Matadero-Sayausí			Estación Tarqui DJ Cumbe		
	Qmín	Qmax	Qmed	Qmín	Qmax	Qmed

1997	0.59	91.64	9.16	0.63	31.28	3.95
1998	0.16	81.04	11.66	0.49	66.3	8.70
1999	0.26	84.91	15.04	0.56	124.33	10.67
2000	0.14	56.17	12.47	0.67	102.74	9.24
2001	0.21	62.36	7.92	0.56	63.39	2.8
2002	0.26	51.34	6.49	0.14	14.42	3.53
2003	0.29	59.21	7.68	1.04	31.83	2.01
2004	0.35	58.18	9.41	0.71	24.88	1.40
2005	0.46	48.57	7.86	0.38	17.93	0.79
2006	0.35	67.85	9.50	0.41	88.61	1.61
2007	0.39	145.8	12.33	0.49	95.66	1.92
2008	1.63	98.18	15.22	2.47	155.77	10.06
2009	1.12	114.33	10.54	0.61	86.19	7.34
2010	0.77	116.04	10.23	0.65	200.4	5.77
2011	0.60	156.08	18.62	0.90	151.97	8.35
2012	0.43	158.19	11.78	0.96	97.61	7.34
2013	0.60	90.72	7.53	0.33	166.67	3.80
2014	0.25	162.47	11.10	0.61	106.84	4.45
2015	0.77	104.44	1.82	0.90	130.74	5.18
2016	0.11	114.33	3.03	0.79	38.65	2.59
2017	0.69	135.26	10.16	0.85	84.70	3.89
2018	0.16	104.89	4.59	0.82	61.67	3.24
2019	0.47	109.03	6.09	0.83	73.18	3.56
2020	3.28	163.91	7.35	0.82	67.43	3.40
PROMEDIO			9.48			4.82

Fuente: Autor.

Aspectos a destacarse de los registros de caudales en el Tomebamba:

- ✓ El caudal medio del Tomebamba en el período analizado, estación Sayausí es de 9.48 m³/s.
- ✓ Para la estación Matadero-Sayausí se tienen registros mínimos de 0,14 m³/s, 0,16 m³/s y 0,21 m³/s los cuales no podrían cubrir la demanda de agua potable en la planta del Cebollar, usos de riego y caudales ecológicos que se estiman alrededor de 0,567 m³/s.

Aspectos a destacarse de los registros de caudales en el Tarqui:

- ✓ El caudal medio del río Tarqui en el período analizado, estación DJ Cumbe es de 4.82 m³/s.
- ✓ Para la estación DJ Cumbe se tienen registros mínimos de 0,33 m³/s, 0,41 m³/s y 0,49 m³/s los cuales no podrían cubrir los usos estéticos y recreacionales.

c) Río Machángara: Se presenta la tabla 7.7 de caudales mínimos, máximos y medios para las estaciones DJ Chulco y AJ Tomebamba.

Tabla 7.7. Caudales mínimos, máximos y medios de río Machángara en m³/s.

Año	MACHÁNGARA					
	MACHÁNGARA DJ CHULCO (SAUCAY)			MACHANGARA AJ TOMEAMBAMBA		
	Qmín	Qmax	Qmed	Qmín	Qmax	Qmed
1997	0.34	52.14	5.21	0.82	47.65	12.76
1998	0.38	46.11	6.63	0.22	52.89	16.24
1999	0.56	48.31	8.56	0.36	61.28	20.95
2000	0.47	31.96	7.10	0.20	78.24	17.37
2001	0.45	34.47	2,16	0.29	86.87	11.03
2002	0.41	29.83	2,75	0.36	71.51	9.04
2003	0.46	28.51	4.00	0.40	82.48	10.70
2004	0.42	45.74	4.00	0.49	81.04	13.11
2005	0.48	32.22	5,99	0.64	67.66	10.95
2006	0.43	34.85	4,62	0.49	94.51	13.23
2007	0.49	27.91	4,20	0.54	53.09	17.18
2008	0.43	29.11	5,99	2.27	39.76	21.20
2009	0.51	75.77	5,51	1.56	59.26	14.68
2010	0.45	29.71	5,05	1.07	61.66	14.25
2011	0.54	55.57	5,99	0.84	47.41	25.94
2012	0.47	77.87	5,99	0.60	52.35	16.41
2013	0.61	28.50	5,28	0.84	36.41	10.49
2014	0.53	52.45	6.32	0.35	56.31	15.46
2015	0.41	59.43	1.04	0.41	28.17	5.71
2016	0.47	45.06	1.72	0.41	70.31	7,57
2017	0.44	76.96	5.78	0.42	45.71	7,48
2018	0.39	39.68	2.61	0.43	56.24	13,89
2019	0.49	52.04	3.47	0.42	50.35	14.98
2020	0.43	43.27	4.18	0.45	61.18	13.44
PROMEDIO			4.66			14.53

Fuente: Autor.

Aspectos a destacarse de los registros de caudales en el Machángara:

- ✓ El caudal medio del río Machángara en el período analizado, estación DJ Chulco es de 4,66 m³/s y en la estación AJ Tomebamba es 14,53 m³/s.
- ✓ Para la estación DJ Chulco se tienen registros mínimos de 0,53 m³/s, 0,049 m³/s y 0,61 m³/s los cuales sí podrían cubrir los usos estéticos y recreacionales.
- ✓ Para la estación AJ Tomebamba se tienen registros mínimos de 0,20 m³/s, 0,99 m³/s y 0,36 m³/s los cuales sí podrían cubrir los usos estéticos y recreacionales.

7.2.4. Análisis de estiajes severos en los últimos años para los cuatro ríos

En los meses de octubre y noviembre del año 2020, se presentó un período de severo estiaje y particularmente entre el 3 de octubre al 30 de noviembre con los siguientes caudales promedios.

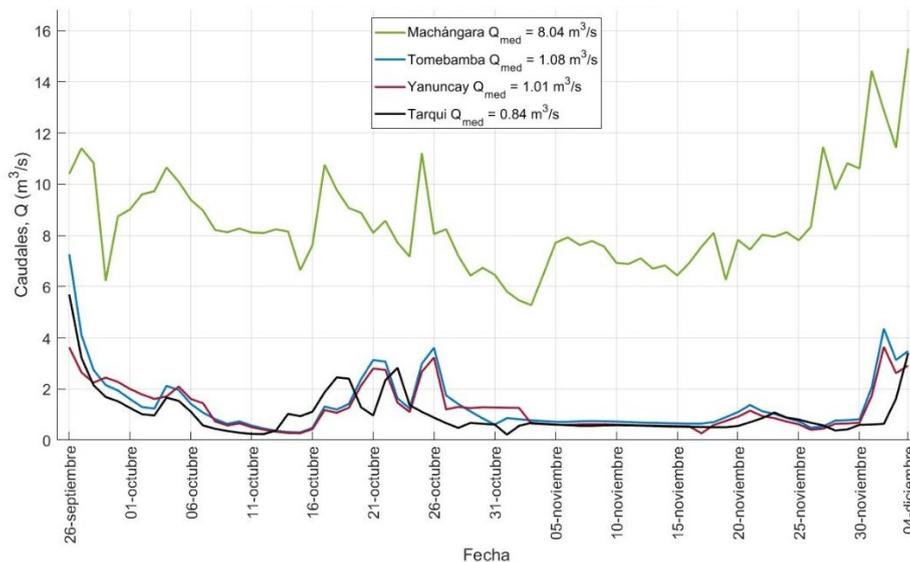
Tabla 7.8. Caudales medios cuatro ríos estiaje, período 3 de octubre-30 de nov. 2020

Río	Estación	Caudal	
		(m ³ /s)	%
Tomebamba	Tomebamba AJ Cuenca	1.08	9.85
Yanuncay	Yanuncay AJ Tarqui	1.01	9.21
Tarqui	Tarqui AJ Yanuncay	0.84	7.66
Machángara	Machángara AJ Tomebamba	8.04	73.29
TOTAL		10.97	100

Fuente: ETAPA EP (2021).

En la tabla 7.8 y grafica 7.1 para todo el período se observa que el río Machángara tiene un aporte equivalente al 73,29% con respecto al total de los cuatro ríos.

Gráfica 7.1. Caudales de estiaje de los ríos de Cuenca, período 3 de octubre-30 de noviembre 2020.



Fuente: ETAPA EP (2021).

Día más crítico en el estiaje de noviembre 2020: Para el día más crítico de este estiaje, el día de menores caudales se presentó el día martes 17 de noviembre del 2020, a las 07H00 con los siguientes valores (Tabla 7.9):

Tabla 7.9. Caudales medios cuatro ríos estiaje, fecha 17 de noviembre del 2020

REPORTE DE CAUDALES EN LOS RÍOS DE CUENCA, PERÍODO DE MARCADO ESTIAJE			
FECHA: Martes 17 de noviembre 2020, Hora: 07H00			
RÍO	CAUDAL (m ³ /s)	%	ESTADO
TOMBAMBA	0,28	4,85	Bajo

YANUNCAY	0,27	4,68	Bajo
TARQUI	0,22	3,81	Bajo
MACHÁNGARA	5,00	86,66	Normal
T O T A L	5,77	100,00	

Fuente: ETAPA EP (2021).

En este caso se observa que la incidencia del río Machángara al estar regulado es mayor y representa para este día de mayor estiaje el 86,66%, mientras que para los ríos Tomebamba y Tarqui, los cuales son fuentes de agua potable para Cuenca y área periférica, su aporte es de tan solo el 4,85% y el 4,68%.

7.2.5. Caudales máximos en los cuatro ríos

Las crecidas fluviales son episodios extremos necesarios para el correcto funcionamiento de los ríos y de sus ecosistemas asociados. Sin embargo, en la ciudad de Cuenca estos eventos se consideran peligrosos debido a la cantidad de accidentes que se han suscitado. En los últimos años se han llevado a cabo estudios y líneas de investigación para poder tener un panorama más amplio de en qué meses del año se suscitan precipitaciones altas pero los estudios requerían de más información para tener datos confiables.

7.2.5.1. Eventos críticos por la creciente de los ríos de Cuenca

Las inundaciones en la ciudad de Cuenca han afectado las zonas inundables de la urbe y zonas aledañas, a continuación, se nombrarán algunos de los eventos suscitados:

i) Crecientes extremas río Tomebamba: En junio del año 2012 el río Tomebamba se desborda por las intensas lluvias, inundando el sector del coliseo Jefferson Pérez, tramos frente a la Universidad de Cuenca, puente Centenario, Hospital regional Vicente Corral Moscoso, Puertas del Sol y Río Amarillo (Naranjo Martínez, 2018).

ii) Crecientes extremas río Yanuncay: En el mes de junio del 2007 el río Yanuncay sobrepaso el cauce y llegó a la calzada en el tramo entre las avenidas 1 de mayo, Loja y Fray Vicente Solano; por lo cual después de lo ocurrido se colocaron muros en los márgenes de los ríos donde existe más peligro. En el mismo mes el día 19 un puente se derrumba sobre el río Yanuncay después de 2 días de constante lluvia y fallece una persona al ser arrastrada por las aguas del río Tarqui (Vallejo Llerena E. , 2014).

En el año 2012 en marzo llueve aproximadamente por una hora en la ciudad causando la inundación de la Av. De las Américas, así como el desbordamiento de los ríos Yanuncay y Tarqui afectando a varios sectores como: Huizhil fallece una persona y dos quedan heridas a causa del derrumbe de su casa, en El Salado una quebrada colapsa e inunda veinte viviendas, 40 personas fueron rescatadas, 90 evacuadas, así como la pérdida de vehículos bajo el agua, enseres y animales y en Victoria de Portete 500 hectáreas de pasto se inundan y animales muertos, entre otros (Naranjo Martínez, 2018).

iii) Crecientes extremas río Tarqui: En 1999 en el mes de octubre el río Tarqui se desborda e inunda el sector de Guzho Bajo, los habitantes de esa zona estuvieron a punto de evacuar sus viviendas debido a la crecida del río, los sembríos quedaron bajo el agua (Alvarado Neira, 2015).

iv) **Crecientes extremas río Machángara:** Las crecientes del río Machángara no han causado mayores problemas en sus riberas por cuanto al contar con los embalses de Chanlud y El Labrado se laminan los picos máximos y las crecientes ya no causan mayores problemas a la población y su infraestructura.

7.2.5.2. Caudales máximos anuales en los cuatro ríos

Se cuentan con 24 años de registros de los caudales máximos anuales para los cuatro ríos, los cuales se presentan a continuación (Tabla 7.10):

Tabla 7.10. Caudales máximos registrados de los 4 ríos.

CAUDALES MÁXIMOS REGISTRADOS (m ³ /s)				
AÑO	RÍO YANUNCAY ESTACIÓN DE PUCAN	RÍO TOMBAMBA ESTACIÓN MATADERO EN SAYAUSI	RÍO TARQUI ESTACIÓN TARQUI DJ CUMBE	RÍO MACHÁNGARA ESTACIÓN DJ CHULCO (SAUCAY)
1997	57.60	91.64	31.29	52.14
1998	46.20	81.04	66.30	46.11
1999	74.00	84.91	124.33	48.31
2000	89.40	56.17	102.74	31.96
2001	98.50	62.36	63.39	34.47
2002	29.80	51.34	14.42	29.83
2003	62.50	59.21	31.83	28.51
2004	48.70	58.18	62.04	45.74
2005	179.40	48.57	17.93	32.23
2006	118.50	67.85	88.61	34.85
2007	197.70	145.80	95.66	27.91
2008	123.60	98.18	155.77	29.11
2009	111.77	114.33	86.19	75.78
2010	98.20	116.04	200.40	29.72
2011	108.95	156.08	151.97	55.68
2012	68.84	158.19	97.62	77.88
2013	166.67	90.72	166.67	28.51
2014	68.84	162.47	106.85	51.00
2015	85.95	104.44	130.74	34.50
2016	94.80	114.33	38.65	20.50
2017	268.75	135.26	84.70	34.30
2018	184.88	104.89	61.67	57.70
2019	85.00	109.03	73.18	20.30
2020	186.70	163.91	67.43	33.30
Máximo evento:	268.8	163.9	200.4	77.9

Fuente: Autor.

Los caudales máximos registrados son para el río Yanuncay en el año 2017 con un caudal de 268,75 m³/s, para el Tomebamba con 163,91 m³/s en el año 2020, un caudal de 200,40 para el Tarqui en el año 2010 y un caudal inferior de tan solo 77,8 m³/s para el Machángara en el año 2012.

7.2.5.3. Caudales proyectados para diferentes períodos de retorno en los cuatro ríos

Utilizando la distribución de probabilidad de Gumbel, la cual es apropiada para eventos extremos y contando con un buen registro de caudales máximos anuales instantáneos, se determinó los caudales para períodos de retorno de 2 a 1.000 años para los ríos Yanuncay, Tomebamba y Tarqui, los cuales se presentan en la tabla 7.11.

Tabla 7.11. Caudales máximos encontrados por el método aplicado en los periodos de retorno de 2,5,10,20,25,33,50,200,100,1000,10000 años en las estaciones aplicadas.

PROBABILIDAD	TIEMPO DE RETORNO	SUBCUENCA RÍO YANUNCAY	SUBCUENCA RÍO TOMBAMBA	SUBCUENCA RÍO TARQUI
		ESTACIÓN PUCÁN	ESTACIÓN MATADERO	ESTACIÓN DJ CUMBE
%	Tr (años)	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
50	2	90.05	95.32	83.09
20	5	141.35	128.37	129.33
10	10	175.32	150.25	159.95
5	20	207.90	171.24	189.32
4	25	218.23	177.90	198.64
3	33	231.49	186.44	210.59
2	50	250.07	198.41	227.34
1	100	281.68	218.77	255.83
0.5	200	313.16	239.06	284.22
0.1	1000	386.10	286.05	349.97

Fuente: Autor.

En la tabla presentada podemos observar que para un periodo de retorno de dos años dentro de la subcuena del río Yanuncay es de 90,04 m³/s y para 5 años de 141,35 m³/s, para la subcuena del río Tomebamba se observa que para un periodo de retorno de 2 años es de 95,32 m³/s y para 5 años de 128,37 m³/s y para la subcuena del río Tarqui en un periodo de retorno de 2 años es de 83,09 m³/s y para 5 años de 129,33 m³/s, con estos resultados podemos predecir que los tres ríos se encontraran en estado de alerta de inundaciones en zonas de las riberas de los ríos, recordando que en el estudio hidrológico – hidráulico de ETAPA que el caudal sobrepase los 50 m³/s se encuentra en estado de alerta.

7.3. Oferta y demanda de agua de los ríos de cuenca

7.3.1. Oferta disponible de agua para Cuenca

Los planes maestros de agua potable y alcantarillado desarrollados para la ciudad de Cuenca y su área de influencia por parte de la Unidad Ejecutora de ETAPA EP, establecen que se puede aprovechar el agua de los ríos Tomebamba, Yanuncay, Machángara y Culebrillas (afluente del río Tomebamba, con su desembocadura en el sector de Sayausí) y que se cuenta con un caudal total en estiaje, caudal mínimo Q98% en 3.796 l/s, siendo la principal fuente el río Yanuncay con 2.000 l/s y que representa el 53% para las condiciones actuales, porcentaje que subirá para el futuro con el incremento de la demanda. Además, se establece la necesidad de un caudal ecológico para preservar la vida acuática en los cuatro recursos en 1.461 l/s y para riego en 1.276 l/s.

7.3.2. Demanda de agua potable y otros usos actuales para Cuenca

Para una población (año 2020) se estima una población de 585.128 habitantes en Cuenca y su área de influencia, siendo necesario un caudal doméstico de 2.193 l/s, a lo cual debemos sumar para caudal ecológico 1.461 l/s y para riego 1.276 l/s, totalizando una demanda actual de 4.930 l/s. Lo que representa un déficit actual de 1.134 l/s.

Tabla 7.12. Caudales requeridos en la actualidad para uso doméstico ecológico y riego (año 2020).

CAUDAL REQUERIDO, AÑO 2020	Q (l/s)
Caudal doméstico requerido en fuentes, población actual de 535.128 hab. en (l/s):	2,193
Caudal ecológico ríos Tomebamba, Yanuncay, Machángara y Culebrillas (l/s):	1,461
Caudal riego ríos Tomebamba, Yanuncay, Machángara y Culebrillas (l/s):	1,276
Caudal total requerido (l/s):	4,930
Caudal mínimo Q 98% (l/s):	3,796
Déficit de caudal (l/s):	1,134

Fuente: ETAPA EP (2021).

7.3.3. Demanda proyectada de agua para Cuenca

Las proyecciones poblacionales para los próximos 30 años, año 2050, indican que se tendrá 1.077.106 habitantes en Cuenca, con lo cual la demanda doméstica crecerá a 3.760 l/s y la demanda total de agua a 6.497 l/s, siendo el déficit acumulado igual 2.701 l/s, en el caso de no encontrar nuevas fuentes de agua u obras de regulación para los ríos existentes (Tabla 7.13).

Tabla 7.13. Proyección de población y oferta de caudales ríos: Tomebamba, Yanuncay, Machángara y Culebrillas para cuenca y su área de influencia

Años	Población Total (hab)	Caudal doméstico requerido	Caudal ecológico y	Caudal total	Caudal en estiaje (l/s)	Déficit de

		en fuentes (l/s)	para riego en ríos (l/s)	requerido (l/s)		caudal (l/s)
2015	470,199	1,969	2,737	4,706	3,796	-910
2020	535,128	2,193	2,737	4,930	3,796	-1,134
2030	686,359	2,657	2,737	5,394	3,796	-1,598
2045	968,130	3,458	2,737	6,195	3,796	-2,399
2050	1,077,106	3,760	2,737	6,497	3,796	-2,701

Fuente: ETAPA EP (2021).

d) Incremento de la demanda de caudales de agua para Cuenca: Considerando que la calidad de agua del río Tarqui no es apropiada para consumo doméstico, el único camino que queda es incrementar los caudales de agua en períodos de estiaje de los ríos Tomebamba y Yanuncay, para cubrir el déficit actual y futuro que llegará a 2.701 l/s en los próximos 30 años.

Regulación del Tomebamba: Numerosos estudios se han realizado para regular la cuenca del río Tomebamba, el más reciente es el realizado por ETAPA EP a través del PROMAS de la Universidad de Cuenca, planificando la construcción de un embalse en la laguna dos chorreras para incrementar el caudal en 200 l/s.

Se considera el lugar más adecuado para intervención la laguna de Dos Chorreras, ya que presenta condiciones técnicas muy favorables, esto sumado a su ubicación fuera del Parque Nacional Cajas PNC y a la fácil accesibilidad.

Regulación del Yanuncay: ELECAUSTRO S.A., cuenta con estudios y diseños concluidos y el correspondiente financiamiento para construir la represa de Quingoyacu y contar con una capacidad de almacenamiento de 21 millones de metros cúbicos y de esta forma aportar al déficit de agua potable de Cuenca.

Capítulo 8: Percepción ciudadana de zonas con embalses y zonas sin embalse.

En el presente proyecto de investigación se emplearon entrevistas semiestructuradas que tiene un guion de preguntas abiertas, direccionando a un número específico de representantes institucionales de los GADs de Checa, Chiquintad y San Joaquín (presidentes de los GADs), debido a la experiencia adquirida por ser parte de la gestión de las cuencas del río Machángara y Yanuncay por ser la subcuenca en donde se construirá la represa de Quingoyacu. También se tendrá en cuenta representantes de la institución generadora de energía ELECAUSTRO, viendo la realidad desde distintos puntos de vista, ya que la misma recoge información de forma independiente acerca de las variables consideradas, lo cual nos mostrara la relación que existe entre estas variables y la perspectiva de los GADs que tienen en sus territorios las represas hidroeléctricas; es por ello que la técnica más pertinente es la entrevista, esta es íntima, flexible y abierta lo cual facilita la recolección de datos.

Para la recolección de datos se ha recurrido al uso de entrevistas presenciales con los diferentes funcionarios tanto de los GADs parroquiales, como de la institución encargada del proyecto hidroeléctrico Soldados-Yanuncay. En la subcuenca del Machángara se realizaron 5 entrevistas dirigidas a los 2 presidentes de los GADs y a 3 representantes de la comunidad que se encuentran en el territorio de las represas de Chanlud y el Labrado, para establecer un dialogo con las parroquias Checa y Chiquintad, teniendo en cuenta que son parroquias que han sido parte del Complejo Hidroeléctrico Machángara. Mientras que en la subcuenca del río Yanuncay, para conocer su opinión sobre el proyecto y como ha sido ser partícipes en él, se realizó 4 entrevistas, una con el presidente del GAD, un miembro de la junta de la Parroquia San Joaquín, el representante de la comunidad de Soldados y a un Concejal del cantón Cuenca respecto a la construcción y futuro funcionamiento del proyecto hidroeléctrico Soldados-Yanuncay; así como se recolectaron 3 entrevistas, uno al Asesor Técnico de ELECAUSTRO que está participando en la planificación y ejecución del Proyecto Hidroeléctrico Soldados-Yanuncay PHSY, así como a la directora de la comisión técnica de la gestión de la cuenca del río Machángara y a la directora de la unidad ejecutora de desarrollo territorial de las zonas en donde se encuentran las centrales hidroeléctricas.

La información obtenida de las entrevistas se analizara para saber cuáles son los diferentes puntos de vista.

8.1.Preguntas realizadas a las zonas con embalses.

- Presidente de la Junta Parroquial de Checa: Jorge Torres
- Presidente de la Junta Parroquial de Chiquintad: Dr. Manuel Quito.
- Miembros de la comunidad de la cuenca del río Machángara: Sr. Manuel Aucapiña, Sr. Elsa Agudo y al Sr. Ángel Uyaguari (presidente de la junta de agua y riego).

1. ¿Qué representa para la parroquia Chiquintad/Checa el Complejo Hidroeléctrico Machángara dentro de su Territorio?
2. ¿Ustedes que beneficios han obtenido con la construcción y funcionamiento del complejo hidroeléctrico Machángara?
3. ¿Representa algunas molestias su funcionamiento?

4. ¿La cuenca hídrica del Machángara está más cuidada y conservada con la presencia del Complejo Hidroeléctrico?
5. ¿De lo que usted recuerda o le hayan contado, cuando se iba a construir la presa de Chanlud, cuál fue el comportamiento o reacciones de la población de Checa/Chiquintad?
6. ¿ELECAUSTRO ha cumplido las obras, programas, servicios que ha acordado con la dirigencia Parroquial?
7. ¿La distribución de agua para sus diferentes usos está adecuadamente controlado y regulado, incluido el caudal ecológico para la preservación de la vida acuática?
8. ¿Han sido importantes los beneficios sociales del Machángara de reducir las crecidas o laminar los picos y evitar las inundaciones y además el de asegurar el agua para Cuenca?
9. ¿En conclusión usted piensa que la construcción del proyecto hidroeléctrico Machángara es algo bueno o algo malo y que quisiera que cambie?

8.2.Preguntas realizadas a la zona sin embalse.

- Presidente de la Junta Parroquial de San Joaquín: Pedro Padilla
 - Vocal de Ambiente de la Junta Parroquial de San Joaquín: Ing. Lorena Muñoz.
 - Concejal del cantón Cuenca: Ing. Omar Álvarez
1. ¿Conoce usted con profundidad el Proyecto Hidroeléctrico Soldados - Yanuncay planificado desde hace varios años por ELECAUSTRO S.A. en las parroquias San Joaquín y Baños del cantón Cuenca?
 2. ¿Los Directivos de ELECAUSTRO S.A., señalan que es de interés colectivo que permitirá asegurar agua al sector sur de Cuenca hasta el año 2050, además la laminación o reducción de las crecidas y la generación hidroeléctrica, recursos con los cuales se aportará al desarrollo de estas parroquias? ¿Qué opina usted?
 3. ¿Qué beneficios usted/ustedes identifican de la construcción y funcionamiento del PHSY?
 4. ¿Qué afecciones usted/ustedes identifican de la construcción y funcionamiento del PHSY?
 5. ¿Qué conoce de la percepción de los habitantes de San Joaquín respecto al PHSY?
 6. ¿Estima usted que el proceso de socialización para construir el PHSY ha sido adecuado?
 7. ¿Conoce usted del funcionamiento del Complejo Hidroeléctrico Machángara el cual ha ganado varios galardones por el cuidado de la cuenca hidrográfica, por ser buen vecino y su aporte a la provisión de agua para Cuenca, generación hidroeléctrica, riego y el mantenimiento de caudales ecológicos?
 8. ¿Qué debería hacer ELECAUSTRO S.A. para reducir los temores?
- Representante de la comunidad de Soldados: Sr. Ángel Saquinaula. (Solo acepto hablar el Sr. Ángel, el resto de la comunidad prefiere no hablar sobre el tema, no aceptan entrevistas ni preguntas).

1. ¿Conoce sobre el PHSY?
2. ¿Acepta o rechaza el PHSY?
3. ¿Cuáles han sido las dudas sobre el proyecto?
4. ¿La socialización realizada por la empresa ELECAUSTRO ha sido la adecuada o no?
5. ¿Porque no aceptan el proyecto hidroeléctrico Soldados-Yanuncay?

8.3.Preguntas realizadas a la empresa ElecAustro.

- Asesor Técnico de ELECAUSTRO que está participando en la planificación y ejecución del Proyecto Hidroeléctrico Soldados-Yanuncay: Ing. Diego Tinoco

1. ¿Con qué objetivos se planificó el Proyecto Hidroeléctrico Soldados-Yanuncay, cuando se iniciaron los estudios preliminares?
2. ¿Qué componentes principales lo integra el PHSY, cual es el de mayor complejidad?
3. ¿Por qué razones se eligió Quingoyacu para la construcción de la represa?
4. ¿Qué cuidados se han tenido en cuenta para la planificación de la represa?
5. ¿Se han ejecutado proyectos de esta magnitud en la provincia y región?
6. ¿Es comparable la presa de Mazar con la presa que se construirá en Quingoyacu?
7. ¿Qué se está tomando en cuenta para evitar una eventual rotura de la presa?
8. ¿Se pueden mitigar o reducir los impactos que se generará en la construcción y funcionamiento del PHSY?
9. ¿Qué le diría usted a los que se oponen al proyecto o tienen temores por el mismo?

- Directora de la comisión técnica de la gestión de la cuenca del río Machángara: Ing. Martha Aguilar

1. ¿Qué beneficios se han obtenido de la gestión del Complejo Hidroeléctrico Machángara?
2. ¿Cree usted que la gestión en la cuenca del Machángara ha representado alguna molestia a las parroquias de Checa y Chiquintad?
3. ¿De la experiencia de la gestión en la cuenca del Machángara, como se podría replicar en la cuenca del Yanuncay con el PHSY?
4. ¿Con la gestión que se desarrolla en la cuenca del Machángara, esta se encuentra más cuidada y conservada?
5. ¿Qué cambios se han podido ver notablemente en la cuenca del Machángara con la gestión de esta?

- Directora de la unidad ejecutora de desarrollo territorial : Ing. Diana Ortega

1. ¿Qué beneficios se ha proporcionado a las parroquias que se encuentran en el área de influencia de las centrales hidroeléctricas?
2. ¿Cree usted que la cantidad de dinero que se entrega a las parroquias que se encuentran en el área de influencia de las centrales hidroeléctricas, está bien empleado?
3. ¿Cree usted que la socialización con las parroquias que poseen las centrales hidroeléctricas es exitosa, porque cree que se deba eso?

4. ¿De la experiencia con todas las centrales hidroeléctricas que posee la empresa ELECAUSTRO, como se podría replicar la socialización con las parroquias en la cuenca del Yanuncay con el PHSY?
5. ¿Los proyectos y programas que ha propuesto la empresa ElecAustro, han sido llevadas con éxito?

8.4.Resultado de los presidentes de los GADs y comunidad que se encuentran en el área de influencia de los embalses del cantón Cuenca.

Los presidentes tanto de la parroquia Checa y Chiquintad como los representantes de la comunidad concuerdan que el Complejo Hidroeléctrico Machángara ha generado fuentes de trabajo, un mejoramiento en las vías, así como el progreso para la parroquia, por lo cual su funcionamiento no representa ninguna molestia, más bien la cuenca hídrica está más cuidada debido a que posee el “Comité de Conservación de la cuenca del río Machángara”, pero que en un inicio de la construcción de los embalses en la parroquia Checa la gente era reacia y no le agradaba la idea de un embalse, pero en Chiquintad la población acepto por las fuentes de empleo generadas y por la ayuda que genero la empresa ElecAustro con problemas de la comunidad.

Que ElecAustro ha cumplido con todos los programas y obras acordadas y que la distribución de agua no les afecta en nada, más bien concuerdan que al poseer los embalses el río está regulado y que es algo positivo, porque la gente ya no puede destruir los chaparros ni expandir la ganadería en la zona alta de la cuenca.

8.5.Resultado del GAD de San Joaquín y del concejal sobre PHSY.

El presidente, la vocal de ambiente del GAD y el concejal conoce el PHSY manifestaron que existirá un impacto porque se realizara una represa, pero que a futuro no causara ningún daño; sin embargo, el beneficio será más importante debido a la regulación del caudal que es transcendental para la ciudad, y que la parroquia se beneficiara en temas de vialidad y turismo, así como beneficiara a la ciudad de Cuenca en controlar las crecidas del río,

La gente no apoya el proyecto según la percepción del presidente ya que la socialización no ha sido la adecuada debido a que no se ha considerado a todas las comunidades de San Joaquín. Sin embargo, la vocal de ambiente manifestó todo lo contrario, indicando que la gente acepta el proyecto, pero existen grupos minoristas que se oponen, también puntualizó que la socialización no ha sido la adecuada. El presidente, la vocal de ambiente y el concejal han visitado el complejo hidroeléctrico Machángara, conocen el proyecto, pero él presidente no sabe es su funcionamiento, mientras que la vocal de ambiente conoce cómo funciona y que es lo que se realizará en la cuenca del Yanuncay. Por otra parte el concejal admira la gestión que se ha realizado en la cuenca del Machángara y espera una gestión similar en la del Yanuncay.

El presidente y el concejal esperan una correcta socialización y la vocal un pronunciamiento de ElecAustro para que la ciudadanía conozca cuanto se ha invertido para reducir los temores y la ayuda económica a las parroquias de San Joaquín y Baños.

8.5.1. Resultado del representante de la comunidad de Soldados.

El representante de la comunidad tiene un buen grado de conocimiento del PHSY, a pesar de esto rechaza absolutamente, porque el proyecto no ha sido socializado como es, por lo que esperan un dialogo con la comunidad. Además, indicó que el gerente de ELECAUSTRO, no

les dicen la verdad y que la falta de información ha sido evidente. El impacto ambiental que se va a realizar va a perjudicar a toda la población y el río se va a secar debido a la captación de 5 ríos que alimentan al río Yanuncay y esta agua captada será enviada por un tubo olvidándose de la comunidad, por lo cual piden que se respete el art. 57 de la ley orgánica de recursos hídricos usos y aprovechamiento del agua, así como que la consulta previa, libre e informada en el Ecuador.

El representante da las razones por la cual la comunidad se ha puesto en contra del proyecto, porque el principal problema es la socialización, indicando además que los quieren comprar con obras si relevancia (obras de poca inversión). Finalmente, manifiestan la indignación de la población y que no se han visto mejoras en las vías por la falta de aceptación al PHSY.

8.6.Resultado de la empresa ElecAustro dueña de las centrales hidroeléctricas y de la implementación de los embalses.

Los funcionarios de ElecAustro a cargo de la gestión en la subcuenca del Machángara, del proyecto hidroeléctrico Soldados Yanuncay y del desarrollo territorial de las parroquias en donde se encuentran las Centrales Hidroeléctricas concuerdan que la implementación de centrales y de los embalses trae beneficios para las parroquias aledañas y que no se sienten afectadas, mejor se sienten apoyadas porque pueden progresar gracias al apoyo económico que genera la empresa ElecAustro. Con respecto al miedo que tienen los pobladores de San Joaquín a que el embalse pueda parecerse al embalse de Mazar, indicó la funcionaria que esto es completamente falso, el embalse de Mazar, almacena toda el agua que pasa por una ciudad, agua contaminada y con residuos sólidos, mientras que el embalse Quingoyacu recolectara agua limpia y pura.

La empresa sabe que la represa cuenta con todos los estudios realizados de la mejor técnica, por ejemplo, el agua se traerá por tubería y no por un canal, con esto no se alterará las condiciones originales de calidad del agua. Además, se indicó que la presa está diseñada de tal forma, que prácticamente es imposible que pueda producirse una ruptura, y en el eventual caso que se existiere una ruptura, el fracaso es por partes muy diferente a las de hormigón. Como medida de control y precaución se contará con un monitoreo los 365 días al año 24 horas y se implementará piezómetros con las suficientes alarmas para avisar si se está produciendo algún principio de daño o un mayor paso de agua al que está planificado. Además, la presa poseerá un sistema de recolección de las aguas que se podrían filtrar, así como pantallas de drenaje para poder controlar la cantidad de agua que va a pasar al río (si el caudal es mayor al propuesto se podrá revisar), además contará con controles topográficos diarios de toda la zona, tanto en la parte alta del embalse como en las plantas.

Su gestión será igual de buena que la que posee la cuenca del río Machángara, por lo que ya se conformó el comité de la subcuenca del Yanuncay, tomando como ejemplo el comité del Machángara. Dicho comité está conformado por varias instituciones, lo que va a facilitar la gestión ya que cada territorio tiene su problemática, sus pros y sus contras. Las conexiones o nexos que existen en el comité del Machángara facilitaran al Yanuncay; por ejemplo, el Ministerio de Agricultura sabe cómo se trabaja en el Machángara lo que facilitará la gestión en la cuenca del Yanuncay. La academia, a través de la universidad del Azuay y la de Cuenca han hecho algunas investigaciones en el Machángara y en el Yanuncay.

Con la gestión que se desarrolla en la cuenca del Machángara se ha trabajado en diferentes ámbitos y en diferentes competencias, como en la protección y en la gestión de recursos; además las parroquias que son las beneficiadoras, estarán mejor servidas, por lo cual traerá desarrollo.

Con la implementación del PHSY se espera que los beneficios sean iguales a los proporcionado a las parroquias que se encuentran en el área de influencia de las centrales hidroeléctricas de la cuenca del Machángara, quienes reciben recursos iguales al 30% del superable de la generación; con esos recursos se han gestionado proyectos de apoyo a los GADs y municipios.

La empresa se enfoca en el cuidado del medio ambiente, para ver si se reduce las malas prácticas agrícolas. A través de los programas de desarrollo territorial, ElecAustro ha conseguido que la gente mejore sus prácticas agrícolas, y que se cuente con centros de salud de primera. También, existe un impacto económico positivo, ya se contrata a la gente de la zona, de esta manera se crea el desarrollo en el sector y con nuevas fuentes de trabajo y mejorando de esta forma el bienestar de la población.

Capítulo 9: Estrategias para una buena socialización.

9.1. Resolución de conflictos.

9.1.1. Conflictos

El conflicto es una situación de tensión que surge en presencia de posiciones discrepantes y se basa en intereses conflictivos. Los conflictos en el ámbito ambiental y social adquieren ciertas características que derivan de su complejidad y publicidad debido a la situación caótica y dinámica que aglutina diversos intereses (Prieto Remón, Cobo Benita, Ortiz , & Uruburu, 2015).

Los conflictos ambientales pueden implicar numerosos desafíos científicos, económicos y legales y diversos grados de aceptación pública. En general, el conflicto puede verse como un proceso en el que las interacciones adversas predominan sobre las atractivas. De esta forma se pueden distinguir las etapas de nacimiento, crecimiento y desarrollo (Banco Mundial, 2018). Se puede caracterizar como:

- Cuando los intereses de un individuo, grupo pequeño u organización grande ocurre entre dos o más partes. Las interacciones pueden ocurrir entre dos personas, entre dos grupos o entre personas y grupos.
- Interacciones en las que las personas intervienen no solo de acuerdo con sus acciones, pensamientos, valores y habla, sino también de acuerdo con su rol y participación de poder en la sociedad.
- Relaciones que alcanzando un modo agresivo.
- Relaciones con sucesos co-construidos por las partes.

Hay dos etapas en el desarrollo de un conflicto:

- a) Una etapa potencial en la que todas las partes no admiten ser una parte del conflicto.
- b) Una etapa manifiesta que asume que los actores involucrados asumen comportamientos identificables reconocibles.

9.2. Estrategias

Existen diferentes estrategias, o “manejo de disputas”, para diferentes etapas, desde la prevención hasta la resolución.

- **Prevención:** se define como un plan de acción para identificar áreas potenciales de conflicto y eliminar o minimizar sus causas.
- **Evasión:** una respuesta que tiende a negar que la situación tiene metas incompatibles.
- **Las resoluciones temporales:** principalmente destinadas a cambiar los síntomas de un conflicto, a menudo constituyen acuerdos insostenibles que probablemente reaparezcan por sí solos.
- **Resolución:** Un acuerdo aceptado por todas las partes para eliminar la causa del conflicto.

9.3. Resolución de conflictos socio ambientales

En diversas instituciones de todo el mundo se enseñan diversas habilidades para la resolución de conflictos. Los conflictos socioambientales se consideran resueltos cuando se llega a un acuerdo satisfactorio entre las partes involucradas, asegurando su continuidad en el tiempo (Banco Mundial, 2018). Esto incluye la satisfacción de los intereses legítimos de las partes y un grado significativo de equidad en las soluciones logradas. Para ello:

- Todas las partes deben asumir responsablemente el resultado final y aceptar que el acuerdo alcanzado proporcionará el mayor nivel de satisfacción posible.
- El contrato no se puede mejorar si una de las partes se ve afectada.
- Los contratos son viables y estables cuando todas las partes están comprometidas con el desempeño.
- El proceso de llegar a un acuerdo no debe dañar la relación entre quienes viven o trabajan juntos.
- Los contratos incorporan mecanismos de control independientes para asegurar su cumplimiento.

9.3.1. Formas tradicionales de resolver disputas.

a) Arbitraje: Es un proceso voluntario y no público en el que las partes delegan en un árbitro la resolución del asunto más controvertido, y es el acuerdo previo de que acatarán la resolución final emitida por el árbitro. Este formulario se puede utilizar cuando las partes no quieren que su caso llegue a los tribunales. El árbitro actúa solo, revisa varios puntos de vista y decide una solución. El resultado del arbitraje es una decisión vinculante, que todas las partes han acordado cumplir previamente (Banco Mundial, 2016).

b) El juicio: La forma en que la sociedad históricamente ha tratado de resolver los conflictos. En este caso, un juez decidirá de acuerdo con la ley vigente. Es un proceso estructurado y riguroso. El proceso judicial distorsiona la realidad. No solo es perjudicial para una solución más rápida y económica de un conflicto, sino que no aborda sus verdaderas raíces. La comunicación entre las partes está en manos de expertos especializados en la materia y está fuera del control de las partes en el litigio (CARE International and International Alert, 2012).

c) Decisión administrativa: Durante este proceso, una de las partes involucradas en la disputa (gobierno local, regional o central) toma las decisiones restantes. Este tipo de resolución puede no ser seguido por todas las partes, prolongando así el conflicto o dando lugar a una resolución diferente (OECD, 2012).

9.3.2. Formas alternativas para la resolución de conflictos.

a) La negociación: Es un proceso en el que las partes analizan de manera conjunta la probabilidad de que una decisión exprese sus intereses y satisfaga a todas las partes ante las partes cara a cara y proponga la acción. La voluntad de comprometerse es esencial para que un proceso tenga éxito.

Las negociaciones pueden existir desde el momento en que se hace visible la existencia de un interés encontrado en el proyecto, y pueden extenderse más allá de la decisión hasta la etapa de revisión y seguimiento de las opciones adoptadas. Básicamente es un intercambio de promesas que requiere una confianza básica con la otra parte (OECD, 2012). Hay que tener en cuenta que estos se negocian a varios niveles. El equipo negociador debe prestar atención a lo que está sucediendo en su propia casa, además de lo que está sucediendo en el otro lado. Se puede decir que las partes están más dispuestas a aceptar el resultado de una negociación que un arreglo judicial impuesto desde el exterior (Espinoza, 2001). Sin embargo, ninguno de los dos caminos está excluido y puede utilizarse como complementario.

Se pueden distinguir cuatro elementos en las negociaciones.

- Personas (separadas de los problemas).
- Apuestas en riesgo (deben estar en el centro de atención).
- Opciones (deben ser múltiples para tomar la decisión correcta).

Criterios: debe ser lo más objetivo posible, basado en el respaldo científico, la equidad y la efectividad. Para temas complejos, es conveniente realizar negociaciones con un supervisor o equipo que incluya líderes, secretarios y técnicos. Varias funciones como facilitación, portavoz, cabildero y trabajo de secretaría son distintas dentro del equipo. Un experto en cada tema en discusión debe formar parte del equipo de negociación (Dayton & Paffenholz, 2007).

9.4. Identificación y análisis de las partes interesadas

La empresa identifica tanto a las partes afectadas por el proyecto como a otras partes interesadas. Las personas o grupos que se ven afectados o pueden verse afectados por el Proyecto se identifican como "Partes Afectadas del Proyecto" y otras personas o grupos que pueden estar interesados en el Proyecto se identifican como "Otras Partes Interesadas".

- a) Primero, cuando una empresa inicia una evaluación ambiental y social de un proyecto, enumera a las personas y otras partes interesadas afectadas por el proyecto y presta especial atención a la identificación de grupos vulnerables o menos favorecidos.
- b) En segundo lugar, para identificar a otras partes interesadas, crear una lista de partes interesadas relevantes y considerar los problemas históricos, las relaciones sociales y las relaciones entre la comunidad y los ejecutores del proyecto. Proyectos y otros elementos relevantes relacionados con sectores y lugares donde se pueden esperar reacciones locales y externas al proyecto (Dayton & Paffenholz, 2007).
- c) Se recomienda dialogar con representantes de los últimos actores identificados y familiarizados con las circunstancias nacionales, regionales y sectoriales. En algunos casos, las búsquedas en redes sociales y redes pueden permitirle ver listados e identificar y contactar a otras partes o partes interesadas afectadas por el proyecto. Se debe prestar especial atención a la identificación de grupos vulnerables o desfavorecidos (CARE International and International Alert, 2012).

La empresa identifica a los afectados (personas o grupos) del proyecto que pueden ser vulnerables o menos favorecidos por determinadas circunstancias. Con base en esta identificación, nos enfocamos a individuos o grupos que pueden tener diferentes intereses y prioridades y pueden requerir formas de participaciones diferentes o separadas con respecto a los impactos del proyecto, los mecanismos de mitigación y los beneficios. Se incluye un nivel apropiado de detalle en la identificación y el análisis de las partes interesadas para determinar el nivel apropiado de comunicación para el proyecto (Espinoza, 2001).

9.5. Conflictos encontrados en el Proyecto Hidroeléctrico Soldados-Yanuncay

- Conflictos por el uso del agua debido a que las personas de la zona de Soldados piensan que se les reducirá el consumo de agua para el llenado del embalse.
- Conflictos por la mala información generada a los pobladores en su mayoría de la zona de Soldados y en menor porcentaje de las comunidades aledañas porque piensan que solo existirán impactos ambientales y no beneficios para la zona.

- Conflictos generados por la influencia política desde la Federación de Organizaciones Indígenas y Campesinas del Azuay FOA y su personal personaje el Dr. Yaku Pérez Guartambel.
- Conflictos entre usuarios debido a que en la zona de Soldados existe un número de pobladores que están a favor del proyecto, los cuales asisten a las socializaciones con la empresa ElecAustro, así como a las visitas que se realizan a los embalses que se encuentran en la cuenca del Machángara.

9.6. Estrategias que podría aplicar ELECAUSTRO S.A. en el Proyecto Hidroeléctrico Soldados-Yanuncay.

Se propone aplicar las siguientes estrategias para avanzar en los acuerdos sociales-ambientales para la implementación del proyecto Hidroeléctrico Soldados-Yanuncay PHSY:

- i) Difusión de los beneficios alcanzados en el cuidado, conservación y regulación de la cuenca del Machángara, con la regulación de caudales, la provisión de agua potable para Cuenca en un 60%, el mantenimiento de caudales ecológicos y para riego y la entrega de recursos de las utilidades en la generación hidroeléctrica y que se comparten para las parroquias vecinas de Checa y Chiquintad especialmente. Esta experiencia reconocida nacional e internacionalmente se podría replicar en la cuenca del Yanuncay.
- ii) Explicación pormenorizada del PHSY, sus beneficios en el orden social para la provisión de agua potable, control de inundaciones, generación de energía hidroeléctrica limpia, los impactos ambientales y las medidas ambientales propuestas en las etapas constructivas y operativas. Los beneficios que tendría para el desarrollo de San Joaquín, Baños, Chaucha y el cantón Cuenca.
- iii) Los Estudios de Impacto Ambiental y Social (EAS), requeridos por instituciones financieras internacionales como el Banco Mundial y el BID, reconocen la importancia de las interacciones abiertas y transparentes entre el Prestatario y las partes potencialmente afectadas del proyecto como algo esencial. Mejores prácticas internacionales.
- iv) Continuar con las visitas guiadas que se han realizado a los pobladores de la zona de influencia del proyecto, a las presas y centrales de los proyectos hidroeléctricos que se encuentran en la cuenca del río Machángara.
- v) ELECAUSTRO debe trabajar de la mano con ETAPA EP, empresa que se beneficiaría por la regulación del río Yanuncay con lo cual se puede ampliar la capacidad de la planta de tratamiento del río Yanuncay, además con la Academia, Cámara de la Construcción, Cámaras de la Producción y Colegios Profesionales.

- vi) Es conveniente realizar eventos públicos relativos a la construcción y funcionamiento de presas, que es el componente más controversial con la participación de expertos a nivel nacional o internacional, las experiencias a nivel nacional e internacional, los impactos y las medidas que se deben aplicar.
- vii) Se debe destacar que la provisión de energía hidroeléctrica, eólica y fotovoltaica permite reducir el uso de combustibles fósiles y de esta forma reducir las afecciones por el cambio climático.
- viii) Con respecto a las indemnizaciones de los predios que serán afectados por el PHSY se conoce que la empresa ElecAustro solicitó el avalúo catastral de los predios a intervenir a la dirección de avalúo del municipio de Cuenca para que sea un pago justo.
- ix) Se aplicarán programas de capacitación en el manejo ambiental, los mismos que se enfocarán: guardianía verde, monitoreo biótico, protección comunitaria de fuentes hídricas, monitoreo sísmico, y a la población de la zona en lo referente a buenas prácticas agropecuarias y educación ambiental; programas similares a los que también se realizan en la cuenca del Machángara.
- x) El financiamiento con respecto a la capacitación de la población afectada en la adquisición de nuevas destrezas, para su inserción en un nuevo sector productivo, se ha realizado varios convenios para:
- Establecer relaciones de cooperación y definir las condiciones de participación de ELECAUSTRO S.A., y el GAD Parroquial de Baños, que permitan minimizar las condiciones de vulnerabilidad de los grupos de atención prioritaria de la parroquia de Baños en el marco de la emergencia sanitaria establecida en el territorio nacional.
 - Fortalecer la concientización ambiental y de liderazgo en los jóvenes de San Joaquín, implementación de una estación de reciclaje denominada “PICHAYBOT”.
 - Impulsar las estrategias, líneas de acción y actividades, para posicionar y potenciar en el campo turístico y de educación ambiental al Bio-Corredor del río Yanuncay. Jardín Botánico de Cuenca.
 - Fortalecimiento de la producción agroecológica en la parroquia de Chaucha zona de influencia del PHSY.
 - Apoyar a proyecto fortalecimiento de la producción agropecuaria sostenible de la parroquia Baños con énfasis en la protección ambiental en área de influencia del PHSY.
- xi) Programas de fortalecimiento comunitario:
- Mantenimiento vial rutinario y preventivo de las vías comprometidas dentro de la zona de influencia del Proyecto Hidroeléctrico Solados – Yanuncay y apoyo en la conservación y cuidado del medio ambiente.
 - Instalación y construcción de redes e infraestructura de telecomunicaciones a lo largo del biocorredor del río Yanuncay en las zonas pobladas de Barabón,

Sustag, Soldados pertenecientes a la parroquia San Joaquín y en las zonas pobladas de la parroquia Chaucha del cantón Cuenca.

- Apoyar con la ampliación de la cobertura del servicio de alumbrado público en varios sectores de la parroquia San Joaquín.

Capítulo 10. Conclusiones y Recomendaciones

10.1. Conclusiones

Las principales conclusiones evidenciadas en el presente análisis de la importancia de ordenar las subcuencas y regular los ríos de Cuenca se presenta a continuación:

- La cuenca del río Paute tiene una extensión total de 6.439 km², la cuenca alta donde se localizan las subcuencas de los ríos Tomebamba, Yanuncay, Tarqui y Machángara alcanza a 1.601,1 km², lo que representa el 24,9% de la cuenca del Paute. El caudal medio total de las cuatro subcuencas alcanza alrededor de los 35 m³/s, siendo el de mayor incidencia la subcuenca del Machángara tanto en períodos de estiaje como épocas normales correspondientes a caudales medios.
- El caudal afluente medio mensual que llega a Paute - embalse de Amaluza es de 118,9 m³/s, al ser el caudal medio de los cuatro ríos de 35 m³/s, su incidencia o aporte alcanza al 29,44%, valor que puede incrementarse con un mayor cuidado y conservación de las tres cuencas: Tomebamba, Yanuncay y Tarqui y su regulación mediante represas y embalses.
- Los registros de lluvia anuales en los cuatro ríos indican con claridad que la cuenca en donde más llueve es la del Machángara, con valores anuales en la estación de Saucay de 1.414,80 mm y de 1.287,8 mm en el Labrado. A su vez el río Tarqui presenta las menores lluvias anuales de tan solo 825,5 mm en la estación Cumbe. En el Tomebamba los registros alcanzan a 1.085,8 mm al año y finalmente el Yanuncay tiene lluvias de 919,7 mm en Cancán y de 986,1 en la estación de Pucán.
- Los registros de precipitaciones máximas de 24 horas con respecto a los registros observados de precipitaciones máximas de 24 horas, los ríos que deben tener especial cuidado por cuanto pueden crecer abruptamente en tan solo 24 horas son en la subcuenca del Tomebamba estación Sayausí, que tiene el mayor registro de 73 mm en el año 2009, la subcuenca del Tarqui estación Portete el valor máximo fue de 71 mm en el año 2011. En la subcuenca del Machángara, estación Huagrahuma el valor máximo de precipitación 24 horas fue de 61,2 mm en el año 2007 y por último el Yanuncay el valor fue de 47mm en el año 2011, estación Pucán. Es decir se deben tener cuidado de lluvias intensas en los cuatro ríos.
- El comportamiento de los ríos en período de estiaje severo en los períodos de estiaje como el ocurrido en el año 2020, desde el 3 de octubre al 30 de noviembre, en los meses de octubre y noviembre, es evidente la reducción de caudales de los tres ríos, el Tomebamba a tan solo 1,08 m³/s, lo que representa el 9,85% del caudal total de los cuatro ríos. El Yanuncay con 1,01 m³/s (9,21%), Tarqui con 0,84 m³/s (7,66%) y finalmente el Machángara con 8,04 m³/s lo que representa el 73,29% al estar la cuenca regulada con las presas de Chanlud y Labrado.

- Los caudales en el día de estiaje más crítico como el ocurrido el 17 de noviembre-2020, la incidencia del Machángara es aún mayor, teniendo un aporte que representa el 86,66% del caudal total en los cuatro ríos, durante este día de bajos caudales en las subcuencas del río Cuenca.
- Las crecientes extremas históricas registradas en los tres ríos Yanuncay, Tarqui y Tomebamba, causaron daño y pánico en la población no así el Machángara cuyos registros no pasan de los 78 m³/s en todo el período de observación disponible. Los caudales máximos registrados son para el río Yanuncay en el año 2017 con un caudal de 268,75 m³/s para el Tomebamba con 163,91 m³/s en el año 2020, un caudal de 200,40 para el Tarqui en el año 2010 y un caudal inferior de tan solo 77,88 m³/s para el Machángara en el año 2012.
- El crecimiento súbito de los tres ríos Tomebamba, Yanuncay y Tarqui en los dos últimos eventos de los años 2020 y 2021, en pocas horas de los ríos como lo ocurrido en los eventos del 3 de mayo del 2020 y del 16 a 19 mayo del 2021, debe tenerse especial atención. El día 3 de mayo del 2020, crecieron grandemente los ríos Tomebamba y Yanuncay alcanzado caudales de 164,4 y 185,8 m³/s, lo especial de este evento es que el Tomebamba también creció a un pico alto a pesar de sus cuidados y protección mediante el Parque Nacional Cajas. Lo del Yanuncay no es tanta novedad por cuanto sus crecientes ya son de cada año y con valores que sobrepasaron los 250,0 m³/s como lo ocurrido en el mes de mayo del 2017. Y entre los días 16 al 19 mayo del 2021 se produjo una gran creciente de los ríos Tarqui, Yanuncay y Tomebamba, alcanzado valores caudales nunca antes registrado como es el caso del río Tarqui con valores mayores a 150 m³/s, el Yanuncay con 175,82 m³/s, el Tomebamba con 118, 34 m³/s y el Machángara tan solo con 32,79 m³/s, siendo el evento más traumático de los últimos 20 años, con grandes daños y extensas áreas inundadas especialmente en las parroquias Tarqui, Victoria del Portete y en el sector del Descanso.
- De manera general se puede indicar lo siguiente respecto al estado actual de las cuatro subcuencas hídricas que rodean la ciudad de Cuenca:
 - La subcuenca del Tarqui es un área territorial nada cuidada, además se presentan precipitaciones intensas y al ser la de mayor área puede producir grandes crecientes y traumáticas inundaciones en la estación invernal como la ocurrida en el año 2021 y en otros años anteriores.
 - El Yanuncay ha sido agredido en su orden natural de manera muy significativa por el crecimiento urbano de la cuenca baja y media, así como la eliminación del chaparro y pajonal para la actividad ganadera en las cuencas media y alta.
 - El Tomebamba presenta problemas de la reducción de caudales en forma notoria en estiaje a valores frecuentes de 200 ó 400 l/s, lo cual no le permite abastecer a la planta de agua potable del Cebollar, agua para riego y tener caudales ecológicos en este río tan emblemático.
 - El Machángara se ha constituido en la principal fuente para la provisión actual y futura de agua para Cuenca con un 54% del caudal y en épocas de estiaje aporta

con 8 m³/s a la central hidroeléctrica de Paute, sumada la atención en el orden económico y de desarrollo que se dan a las parroquias vecinas a las Centrales Hidroeléctricas, por lo cual la consideran el mejor vecino que pudo llegar a sus tierras.

- Tal y como hemos podido comprobar en la subcuenca del Machángara, su recurso hídrico es regular en lo relacionado al flujo de caudales, debido a que en la zona alta se encuentran dos represas. Desde donde, la cantidad de agua que se conduce al río (mínimo el caudal ecológico), al sistema de generación de energía hidroeléctrica, así como para aportar la cantidad necesaria a la planta de tratamiento de Tixán (agua potable) y a los sistemas de riego que existen en la zona.
- En la subcuenca del río Yanuncay, el bio corredor es utilizada para la ganadería, debido a que no existe una gestión que ayude a controlar la expansión de esta actividad. Por otra parte en la zona que será inundada con la presa del proyecto hidroeléctrico Soldados-Yanuncay no existe una abundante flora, la mayoría es pajonal; además la represa que se ubicará en el sector Quingoyacu ayudará a controlar las crecidas del río, evitando o minimizando inundaciones de los sectores como Misicata, Barabón y de la Universidad del Azuay, que son los 3 sitios donde el río se desborda.
- Es importante el ordenamiento de las cuencas hidrográficas de los ríos de Cuenca porque como se ha mostrado existen épocas en donde los ríos sobrepasan los 50 m³/s, valor considerado como nivel de alerta. Registrándose caudales superiores a 100 m³/s, en los ríos Tarqui, Tomebamba y Yanuncay, debido a la falta de un ordenamiento de sus riveras, las mismas que son utilizadas para la ganadería y la agricultura, perjudicando la capa superficial del suelo y contaminando los ríos.
- Los beneficios que se tienen al ordenar una cuenca hidrológica son: primero abastecimiento de agua para el consumo humano (que en la subcuenca del Machángara es de 1.94 m³/s -54%- comparada a la del Yanuncay que aporta con 0.6 m³/s -17 %), agua para riego, conservación ecológica del río, así como el control de inundaciones y la producción de energía eléctrica.
- Los presidentes de los GADs parroquiales y población ubicada en la zona de influencia de las represas concluyen que esta infraestructura es positiva y que las afecciones negativas en la zona son mínimas. Los funcionarios de ElecAustro buscan el desarrollo de la población de Soldados, e indican que el proyecto Hidroeléctrico Soldados – Yanuncay generará un impacto ambiental, sin embargo, se cuentan con las medidas de mitigación, incluyendo lo referente a la compensación social.
- La implementación de la presa Quingoyacu en la cuenca del río Yanuncay, a través de su plan de compensación social generará beneficios a la población de su zona de influencia, ya que se ha previsto que el 30% de las utilidades que se genera el proyecto por la generación de energía eléctrica, será destinadas al desarrollo de las parroquias vecinas como son Baños, San Joaquín y Chaucha. Además, el proyecto disminuirá de

las crecientes, contribuirá con una mejora ambiental en el manejo de la subcuenca y provisionará energía eléctrica a 17.600 viviendas.

- El cambio climático es un aspecto importante a tener cuenta por cuanto las cuatro cuencas son pequeñas y se localizan en la serranía. Estudios rigurosos evidencian la afección de las cuencas del Machángara y Tomebamba por el cambio climático, siendo esencial el cuidado de las cuencas y su regulación preferentemente mediante varias pequeñas presas y embalses.
- Existe una tendencia mundial debido a los efectos del cambio climático, reducir las emisiones por combustibles fósiles y carbono y priorizar el uso de energías renovables como son la hidroeléctrica, eólica y fotovoltaica, por lo que resulta necesario iniciar lo más pronto el proyecto Soldados-Yanuncay y otros proyectos similares.

10.2. Recomendaciones

- Debido a que los caudales extremos no son estimados con precisión en el orden hidrológico, los eventos más importantes son los registros de caudales máximos y de caudales mínimos; sin embargo, los mismos no tienen toda la fiabilidad debido a la discontinuidad de registros durante las épocas de estiajes y los sistemas de medición no calibrados para grandes crecientes como las ocurridas en el mes de mayo del 2021 con los ríos Tarqui y Yanuncay. Crecientes que causaron daños a infraestructura e inundaron amplias zonas. Por lo que es necesario mejorar los sistemas de medición y difusión de la información entre todas las entidades relacionadas a la gestión de las cuencas hidrográficas en mención.
- La gestión de la cuenca del Machángara, por parte de ElecAustro S.A. y las entidades que conforman el “Comité de Conservación de la cuenca del Machángara” es reconocida constantemente por entidades nacionales e internacionales por sus consecuciones; por lo que se debe replicar este buen modelo en las cuencas del Yanuncay, Tarqui y otras cuencas de la provincia y región como la subcuenca de San Francisco que abastece a Gualaceo.
- Las presas y los embalses son infraestructuras seguras y de usos múltiples diseñadas y construidas con estándares muy conservadores. Según el Registro Mundial de Presas, existen alrededor de 60.000 grandes presas en el mundo. Según las estadísticas de accidentes, el número ha disminuido significativamente en las últimas décadas y la probabilidad de falla es inferior al 1%. Esto se debe al desarrollo de la tecnología de la construcción y al fortalecimiento de las normas de seguridad en las etapas de construcción y operación. Sin embargo, los estudios e investigaciones deben continuar de manera particular en lo relativo al estudio de eventuales daños o colapsos de las presas.

- La comunicación e información a la población son aspectos importantes cuando se trata de proyectos de gran envergadura, como es el caso de una presa o un embalse de magnitud, por lo cual se recomienda siempre seguir con las socializaciones a toda la población de la zona, así como a la ciudad que será beneficiaria de los embalses, con la finalidad que la población conozca su funcionamiento y los beneficios que se obtendrá del proyecto.
- La academia debe continuar apoyando a las Municipalidades y otras entidades gubernamentales en la gestión integral de cuencas hidrográficas, por ser un aspecto esencial para el cuidado de los recursos naturales y particularmente el agua que cada vez es más escasa, debido a los usos competitivos, su reducción por las intervenciones humanas y el cambio climático.
- Los moradores del sector donde se construirá el PHSY, tienen inquietudes y temores, justificados ciertamente, por tal motivo se recomienda a los gestores del proyecto, en este caso a ElecAustro, deberá buscar una forma más precisa de socialización para dar a conocer el proyecto, solventar las inquietudes y aclarar situaciones que no están bien explicadas para los moradores.
- Se recomienda seguir realizando socializaciones y reunir a los pobladores de la cuenca del Machángara y Yanuncay, para que aclaren sus dudas sobre cómo es ser parte de la gestión de ElecAustro y como han sido beneficiados con la conservación de la cuenca del río Machángara.
- Se recomienda que el plan de manejo ambiental destinado para el PHSY sea expuesto para que la población de Soldados pueda leer y ver la existencia de medidas ambientales necesarias para mitigar los daños que serán provocados por la construcción de la represa y las centrales hidroeléctricas. De igual forma es importante generar un foro para aclarar todas las dudas respecto al proyecto, debido a que la población de Soldados todavía posee información errónea, por lo cual se generan miedos y conflictos.

Bibliografía

- Balasubramanian, A. (2017). Soil Erosion- Causes and Effects. *Centre for Advanced Studies in Earth Science*.
- Cea Azañedo, J., Puya Crisóstomo, M., Picazo, A., Mancebo, C., & Sánchez, F. (2011). *EL NUEVO REGISTRO DE SEGURIDAD DE PRESAS, EMBALSES Y BALSAS*. España: COMITÉ NACIONAL ESPAÑOL DE GRANDES PRESAS.
- Palacios Ruiz, E. J. (2016). *Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas*. Managua - Nicaragua: Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua.
- Parizaca Perez , Y. M. (2012). *REGIONALIZACIÓN DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN LA CUENCA DEL RÍO RAMIS*. Puno-Perú: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO.
- Sandoval Erazo, W. (2018). *Presas y embalses*. Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE.
- Schwartz, J. (2018). *Más inundaciones y sequías extremas a causa del cambio climático*. EEUU: The New York Times.
- Urgilés Calle, M. G. (2015). *ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE PRECIPITACIONES E INTENSIDADES: OBTENCIÓN DE HISTOGRAMAS DE DISEÑO EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO PAUTE*. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Vallejo Llerena, E. C. (2014). *Análisis de las crecidas presentadas en los ríos Tarqui, Yanuncay y Tomebamba desde 1997 hasta 2011*. Cuenca: Universidad de Cuenca Facultad de Ingeniería.
- Abril, G., Guérin, F., Sandrine, R., Delmas, R., Corinne, G.-L., Gosse, P., . . . Dos Santos, M. (2005). Carbon dioxide and methane emissions and the carbon budget of a 10-year old tropical reservoir (Petit Saut, French Guiana). *Global Biogeochemical Cycles*, 19. doi:<https://doi.org/10.1029/2005GB002457>
- Abubakar Tadda, M., Ahsan, A., Imteaz, M., & Shitu, A. (2019). Operación y Mantenimiento de Estructuras Hidráulicas. *IntechOpen Limited*. doi:10.5772 / intechopen.91949
- Acosta Espinosa, A., & Cajas Guijarro, J. (2020). *CASO CONSULTA POPULAR POR EL AGUA*. Quito: CASO N.º 6-20-CP CORTE CONSTITUCIONAL DEL ECUADOR.
- ACOTECNIC CIA LTDA. (2013). *FORMULACIÓN DEL PLAN DE MANEJO INTEGRAL DE LA SUBCUENCA DEL RÍO MACHÁNGARA*. Cuenca: CONSEJO DE CUENCA DEL RÍO MACHÁNGARA.
- ACOTECNIC Cía Ltda. (2020). *FORMULACIÓN DEL PLAN DE MANEJO INTEGRAL DE LA SUBCUENCA DEL RÍO YANUNCAY*. Cuenca.
- Adhikari, S. (2020). Morphometric Analysis of a Drainage Basin: A Study of Ghatganga River, Bajhang District, Nepal. *The Geographic Base*, 127-144.

- Agencia Europea , d. (2018). *El cambio climático y el agua: océanos más cálidos, inundaciones y sequías*. EEA.
- AGUA.org.mx. (2017). Retrieved from AGUA.org.mx;: <https://agua.org.mx>
- Albarracín Guachichulca, S. L. (2019). *PROPUESTA INTEGRAL DE LA SUBCUENCA HIDROGRAFICA DEL RÍO YANUNCAY, PROVINCIA DEL AZUAY*. Cuenca.
- Aldridge, C., & Baker, B. (2017). *Watersheds: Role, Importance, & Stewardship*. Mississippi: MISSISSIPPI STATE UNIVERSITY.
- Alvarado Neira, M. C. (2015). *Análisis de la cobertura periodística realizada por los diarios El Tiempo y El Mercurio, durante el periodo febrero-mayo 2012 y 2013, en temas relacionados con la gestión de riesgos en Cuenca* . Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Andino, M. (2019, Abril 29). *LA BITACCOTA VERDE*. Retrieved from blogbitacoraverde.blogspot: <https://blogbitacoraverde.blogspot.com>
- ANESAPA. (2006). La necesidad de contruir represas. *ANESAPA*, 52-60.
- Arreguin, I. M. (2019). *LA IMPORTANCIA DE BEBER AGUA*. Retrieved from turiferario.
- ASEP. (2010). *NORMAS PARA LA SEGURIDAD DE PRESAS* . AUTORIDAD NACIONAL DE LOS SERVICIOS PUBLICOS REPUBLICA DE PANAMA .
- Astorga González, A. (1994). POSIBLES CAMBIOS CLIMÁTICOS DEBIDOS A LOS EMBALSES CONSTRUIDOS EN LAS CABECERAS DE LOS RÍOS DE MONTAÑA. *Serie Geográfica* , 45-54.
- Avakyan, A. B. (1967). Importance of reservoirs for water supply and their effect on the quality of river water. *Hydrotechnical Construction* , 236–242 .
doi:<https://doi.org/10.1007/BF02376655>
- Barbosa Casas, S. (2013). *MODELACIÓN HIDRODINÁMICA Y DE CALIDAD DE AGUA DEL SISTEMA INTEGRADO EMBALSE MUÑA-RÍO BOGOTÁ*. Bogotá. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Borrero Vega, A. L. (2002). *LA CUENCA DEL RÍO PAUTE: DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE MANEJO INTEGRAL. POLITICAS DE DESARROLLO AGROPECUARIO*. CUENCA: UNIVERSIDAD DE CUENCA.
- Borrero, A. (2020, Agosto 11). *MANEJO INTEGRAL DE CUENCAS ANDINAS. El cuidado de la cuenca del Machángara*. (A. Borrero, Performer) Cuenca, Azuay, Ecuador.
- Boucher, T., Spalding, M., & Revenga, C. (2013). Role and Trends of Protected Areas in Conservation. In *Encyclopedia of Biodiversity* (pp. 485-503). SIMON LEVIN.
doi:10.1016/B978-0-12-384719-5.00348-8
- Boyé, H., & Vivo, M. (2016). The environmental and social acceptability of dams. *Field Actions Science Reports The journal of field actions*, 32-37.

- Brown, P., Tullos, D., Tilt, B., Magee, D., & Wolf, A. (2009). Modeling the costs and benefits of dam construction from a multidisciplinary perspective. *Journal of Environmental Management*, 303-311. doi:10.1016/j.jenvman.2008.07.025
- Burbano Abril, B. J. (2015). *Análisis de caudales y precipitaciones de los ríos Tomebamba y Yanuncay, año 2015*. Cuenca: Universidad del Azuay.
- Burgueño Muñoz, A. (2016). Beneficios medioambientales de las presas. 883-891.
- Bustamante Fernández, C. A. (2008). *Efectos ambientales generados por la construcción y operación de un embalse*. Sincelejo: Universidad de Sucre.
- Calderón Cancelada, M. A. (2016). *Análisis de vulnerabilidad al cambio climático de la cuenca del Paute (Ecuador)*.
- Carchi García, E. A. (2015). *ELABORACIÓN DE UN BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA DEL RÍO MACHANGARA*. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Cardenas, R. (2011). *¿QUÉ ES CUENCA HIDROLÓGICA?* Lima, Perú.
- CELEC. (2013).
- CELEC EP, & CTOTAL Cía. Ltda. (2012). *ACTUALIZACIÓN DEL ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL Y PLAN DE MANEJO EX POST DE LA CENTRAL PAUTE MOLINO*. Cuenca–Ecuador.
- CENACE. (2010). *PLAN DE OPERACIÓN DEL S.N.I. OCTUBRE 2009 - SEPTIEMBRE 2010*.
- CENACE, O. (2020). *INFORME ANUAL*. CENACE.
- CEPAL. (2013). *Guía análisis y zonificación de cuencas hidrográficas para el ordenamiento territorial*.
- CESEL. (2012). *Estudios de Factibilidad y diseño definitivo del aprovechamiento hidroeléctrico Soldados-Yanuncay*. Cuenca.
- CESEL INGENIEROS. (2012). *Estudio de Impacto Ambiental Definitivo del Aprovechamiento Hidroeléctrico Soldados (7 MW) - Yanuncay (15 MW)*. Cuenca: CESEL.
- Chala, H. (2019). *Elements of dam engineering*. Jimma University.
- CleanWather, S. (2020). *EROSION PREVENTION AND SEDIMENT CONTROL PLANNING AND DESIGN MANUAL*. CleanWather Services.
- Cocha Pallo, J. (2009). *ESTADO ACTUAL DE LA CALIDAD FÍSICO-QUÍMICA, BACTERIOLOGICA Y BIOLÓGICA DEL AGUA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO YANUNCAY EN DOS ESTACIONES CLIMÁTICAS (INVIERNO Y VERANO) DEL CANTÓN CUENCA PROVINCIA DEL AZUAY-ECUADOR*. Cuenca: Universidad del Azuay.

- Comas Navarro, S., & Espino Ventura, S. (2018). *DISEÑO DE UN EMBALSE DESDE EL PUNTO DE VISTA HIDROLÓGICO EN LA CUENCA DEL RÍO BOBA, REPÚBLICA DOMINICANA, UTILIZANDO EL SOFTWARE ARCGIS 10.3*. UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO HENRÍQUEZ UREÑA.
- CONELEC. (2008). *Proyecto Mazar, Ecuador, Consejo Nacional de Electricidad*. CONELEC.
- Corcuera Zabarrurú, A. (2016). *Características morfométricas de una cuenca*. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza.
- Cordero, I. D. (2013). *Plan maestro de la Cuenca del río Paute*. Cuenca.
- Córdova, J. (2015). *DISEÑO DE EMBALSE TENIENDO EN CONSIDERACIÓN LOS IMPACTOS AMBIENTALES*. Piura, Perú.: Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Civil.
- Díaz Cordero, G. (2012). El cambio climático. *CIENCIA Y SOCIEDAD*, 227-240.
- Díaz Cruz, E. (2015). *Enfoque del Manejo de Cuencas*. INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE ZONGOLIA.
- Díaz Díaz, O., Bustamante Delgado, W., Blanco Cabrera, O., & Livaque, N. (2016). *Monografía impactos ambientales de embalses*. Universidad Nacional Autónoma de Chota.
- Díaz Granda, C. (2015). *Consejo de Cuenca del río Machángara*. Cuenca.
- Díaz Granda, C. (2018). *Informe de 20 años de Gestión del Comité de Conservación de la Cuenca del Río Machángara*. Cuenca: Tito Astudillo Astudillo.
- Domínguez Serrano, J. (2019). La construcción de presas en México. Evolución, situación actual y nuevos enfoques para dar viabilidad a la infraestructura hídrica. *Gestión y política pública*, 28(1). doi:<https://doi.org/10.29265/gypp.v28i1.551>
- Dominguez, I. C. (2013). *Evaluación de la Gestión Territorial de la cuenca del río Paute, estrategias y líneas de acción para superarlas*. Cuenca: Universidad de Cuenca, Facultad de Arquitectura y Urbanismo.
- DTK Hydronet Solutions. (2019). *Introduction to Dams: A Brief History and Overview*.
- Echavarría, M., Vogel, J., Albán, M., & Meneses, F. (2004). The impacts of payments for watershed services in Ecuador Emerging lessons from Pimampiro and Cuenca. *ENVIRONMENTAL ECONOMICS PROGRAMME*.
- ElecAustro. (2020). *RESUMEN EJECUTIVO PROYECTO HIDROELÉCTRICO SOLDADOS – YANUNCAY*. Cuenca: ElecAustro.
- ELECAUSTRO. (2021). *Energía bruta generada*. Cuenca: Salinas, Silvia; Sumba, Hector; Andrade, Francisco.

- ELECAUSTRO. (2021). *PROYECTO HIDROELÉCTRICO SOLDADOS – YANUNCAY*. Cuenca.
- ELECAUSTRO, E. (2015). *Memoria técnica del Complejo Hidroeléctrico Machángara*. Cuenca.
- Eoearth. (2011). *Cuenca hidrográfica de un río*.
- Espinoza Gárate, J. (2015). *Determinación de la eficiencia de los procesos de potabilización en la remoción de la carga microbiológica (coliformes totales y fecales) en la planta de tratamiento de Tixán*. Cuenca: Universidad del Azuay.
- ETAPA. (2021, Octubre 31). Alcaldía de Cuenca entrega a la ciudadanía Fase II de la Planta de Potabilización de Agua de Tixán. Cuenca, Azuay, Ecuador.
- ETAPA EP. (2018). Parque Nacional Cajas. *RUTERISMO - PARQUE NACIONAL CAJAS*.
- ETAPA EP. (2021). *RED HIDROMETOROLÓGICA DE ETAPA EP*.
- Fernández Cirelli, A. (2012). El agua: un recurso esencial. *Química Viva*, 11(3), 147-170.
- Fesnad. (2016). Hidratación también es salud. *Fesnad*.
- Flachhser Troya, A. L. (2016). *Monografía del Caudal Ecológico. Análisis de Metodologías para el estudio de caudal ecológico. Casos de estudio en ríos altoandinos ecuatorianos*. Universidad Católica del Ecuador , Quito.
- Fuertes Calva, E. (2013). Características limnológicas de los embalses Alto Andinos. *Revista Cubana de Química*, XXV(1), 26-31.
- GAD Sayausí. (2015). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia de " Sayausí"*. Cuenca.
- GAD Tarqui. (2015). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia Tarqui*. Tarqui.
- Galárraga Sánchez, R. (2001). *ESTADO Y GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN EL ECUADOR*. CYTED.
- Galarza Galarza, M. J., & Chicaiza Rivera, O. V. (2008). *Propuesta agroproductiva sustentable para la microcuenca del río Culebrillas, parroquia Sayausí, provincia del Azuay*. Cuenca: Universidad del Azuay.
- Gallardo, P. (2018). *GESTION DE AGUA EN EL ECUADOR*. Manabí: UNIVERSIDAD ESTATAL DEL SUR DE MANABÍ.
- García Astillero, A. (2020). Por qué es importante cuidar el agua. *Ecología Verde*.
- García Conde, A. J. (2013). *ANÁLISIS DE DISTRIBUCIONES ESTADÍSTICAS ALTERNATIVAS A LAS TRADICIONALES PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LOS CAUDALES DE CÁLCULO EMPLEADOS EN LOS ESTUDIOS HIDROLÓGICOS*. Badajoz: UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA.

- Gonzalo Sotomayor . (2016). *Evaluación de la calidad de las aguas superficiales mediante técnicas de estadística multivariante: Un estudio de caso en la cuenca del Río Paute, al sur de Ecuador.*
- Guachiculca, S. L. (2019). *Propuesta de manejo integral de la subcuenca hidrográfica del río Yanuncay, Provincia del Azuay.* Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana .
- GWSP. (2020). *GOOD PRACTICE NOTE ON DAM SAFETY.* THE WORLD BANK .
- Hans Wolf & Partner Cía. Ltda , I. (2002). *ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEFINITIVO Y PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DE LAS INSTALACIONES PARA GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA PROPIEDAD DE LA EMPRESA ELECTRO GENERADORA DEL AUSTRO ELECAUSTRO S.A.* Cuenca.
- Hernando Londoño, C. (2001). *Cuencas Hidrográficas: Bases conceptuales.* Ibagué-Colombia: Universidad de Tolima.
- HIDROPAUTE S.A. (2006). *PROYECTO HIDROELECTRICO MAZAR ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEFINITIVO (EIAD).* ACOTECNIC.
- Hossain, M. Z. (2015). WATER: THE MOST PRECIOUS RESOURCE OF OUR LIFE. *GLOBAL JOURNAL OF ADVANCED RESEARCH*, 1436-1445.
- Huguenin, C. (2016). *Caudal Ecológico en el mundo y Costa Rica.* Florida: Congreso Nacional de Recursos Hídricos y Saneamiento.
- Hunter, D., Kanga, E., & Wong, M. (2015). Values and benefits of protected areas. In S. Stolton, & N. Dudley, *Protected Area Governance and Management* (pp. 145-168). Australia: Press Canberra.
- IERSE. (2008). Cuenca: Instituto de Estudios de Régimen Seccional del Ecuador.
- IERSE. (2020). Cuenca: Instituto de Estudios de Régimen Seccional del Ecuador.
- INAMHI. (2019). *Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.*
- INEC, I. (2021). *Proyección poblacional a nivel provincial periodo 2020-2025.* INEC.
- INP. (2013). *ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEFINITIVO EMBALSE DE LA REPRESA DE TAHUÍN.* Instituto Nacional de Preinversión.
- IPCC. (2020). *El cambio climático y la tierra.* OMM.
- Jaramillo Ochoa, V. (2011). *Caracterización preliminar de la geomorfología e hidrología de la microcuenca del río Irquis, parroquia victoria del portete, cantón Cuenca-Provincia del Azuay .* Girón.
- Jardí, M. (1985). Forma de una cuenca de drenaje. Analisis de las variables morfométricas que nos la definen. *Revista de Geografía*, 41-68.
- Jerves Cobo , R., Everaert , G., Iñiguez Vela , X., Córdova Vela, G., Díaz Granda , C., Cisneros , F., . . . M Goethals , P. (2017). A Methodology to Model Environmental

- Preferences of EPT Taxa in the Machangara River Basin (Ecuador). *Water*, 9(3):195. doi: <https://doi.org/10.3390/w9030195>
- Jerves Cobo, R., Benedetti, L., Youri, A., Lock, K., De Mulder, C., Van Butsel, J., . . . Nopens, I. (2020). Integrated ecological modelling for evidence-based determination of water management interventions in urbanized river basins: Case study in the Cuenca River basin (Ecuador). *Science of The Total Environment*, vol. 709C, p. 136067.
- Kılıç, Z. (2020). The importance of water and conscious use of water. *MedCrave*, 239-241.
- Lakshmi, T. (2019). Irrigation and Hydraulic Structures. In *DAM'S*.
- Ledec, G., & Quintero, J. D. (2003). Good Dams and Bad Dams: Environmental Criteria for Site Selection of Hydroelectric Projects. In *Latin America and the Caribbean Region* (pp. 13-17). LCSES.
- Lee, T. M., Sodhi, N., & Prawiradilaga, D. (2007). THE IMPORTANCE OF PROTECTED AREAS FOR THE FOREST AND ENDEMIC AVIFAUNA OF SULAWESI (INDONESIA). *Ecological Society of America*, 1727-1741. doi:10.1890/06-1256.1
- Leiva Llerena, I. (2017). *Tendencias actuales en el análisis de la integridad de presas de tierra*. Santa Clara: Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.
- Lejeune, A., & Hui, S. L. (2020). Hydro Power: A Multi Benefit Solution for Renewable Energy. *Earth Systems and Environmental Sciences*, 15-47.
- Loja Capón, G. P. (2013). *Determinación de estrategias de conservación en la subcuenca del río Yanuncay mediante el análisis de indicadores de calidad y cantidad de agua*. Cuenca: Universidad del Azuay.
- Lyapichev, Y. (2017). *Direcciones para gestión de seguridad de grandes presas y obras hidráulicas*.
- Lynch, D. (2016). Hay abundancia de agua (pero no) en todas partes: La urgencia de incrementar el uso más eficiente de un recurso escaso. *Bnaco Mundial*.
- Mangney, A. (2020). *La seguridad de las presas y la importancia de la división de seguridad de las presas*. CALIFORNIA DEPARTMENT OF WATER RESOURCES.
- Martínez Gavilanes, J. M. (2012). *DIAGNÓSTICO DEL INVENTARIO DE RECURSOS HÍDRICOS EN LA PROVINCIA DEL AZUAY*. Cuenca: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.
- Martínez Valdés, Y., & Villalejo García, V. M. (2018). *La gestión integrada de los recursos hídricos: una necesidad de estos tiempos*. La Habana: Ingeniería Hidráulica y Ambiental.
- Martínez Yrizar, A., Búrquez, A., & Calmus, T. (2021). Impactos ambientales asociados a la construcción de presas. *Sal&Roca*.

- Matovelle, C. (2021). Analysis of a High Andean River's Behavior at Loads of Organic Matter Through the Use of Mathematical Models with Experimentally Determined Kinetic Rates. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 16(4), 675-682. doi:<https://doi.org/10.18280/ijstdp.160407>
- McCartney, M. (2009). Living with dams: managing the environmental impacts. *Water Policy 11 Supplement*, 121-139.
- Mehmetaj, I. (2015). *Elements of Dam Engineering*.
- Mena Iza, J., & Alquina Herrera, Y. (2019). *Vulnerabilidad y Riesgo Climático territorial en el área de la Subcuenca del Río Machángara de la Provincia del Azuay*. Quito: Universidad Central del Ecuador.
- Millennium Ecosystem, A. (2005). *Ecosystems and Human Well-being*.
- Molden, D., Sakthivadivel, R., & Keller, J. (2001). *Hydronomic Zones for Developing Basin Water Conservation Strategies*. Colombo: International Water Management Institute.
- Molina Garate, E. (2010). El Consejo de Gestión de Aguas de la cuenca del Paute. *Cogestión de cuencas hidrográficas experiencias y desafíos*, (pp. 40-43).
- Moreno Díaz, A., & Renner, I. (2007). *Gestión Integral de Cuencas. La experiencia del Proyecto Regional, Cuencas Andinas*.
- Naranjo Martínez, P. D. (2018). *Elaboración de hidrogramas de crecidas de las cuencas de los ríos Tomebamba, Tarqui y Yanuncay desde el año 1997- 2017*. Cuenca: Universidad del Azuay, Facultad de Ciencia y Tecnología.
- Nestmann, F., & Stelzer, C. (2007). The importance of reservoirs for water supply and power generation. *Global Change: Enough water for all? Wissenschaftliche*, 117-121.
- Ochoa , P. A., Fries, A., Mejía, D., Burneo, J. I., Ruíz Sinoga, J. D., & Cerdá, A. (2016). Effects of climate, land cover and topography on soil erosion risk in a semiarid basin of the Andes. *ELSEVIER*, 31-42.
- Ollero Ojeda, A. (1995). Restauración ambiental, social y territorial frente a los impactos generados por los embalses. *Geographicalia*, 139-153.
- Ordoñez Gálvez, J. J. (2011). *¿QUÉ ES CUENCA HIDRÓLOGICA?* Lima, Perú.
- Ordóñez Salinas , J. (2010). *Limnología del embalse de Sau*. Barcelona: Universidad de Barcelona.
- ORSEP. (2011). *LINEAMIENTOS DE SEGURIDAD DE PRESAS*. Argentina: ORGANISMO REGULADOR DE SEGURIDAD DE PRESAS.
- Ortega, E. (2012). *Elaboración de Mapas tipo Atlas para la Subcuenca del Río Machángara*. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Ortiz Moya, E. (2015). *Definición de las reglas de operación hidráulica del embalse La Esperanza*. Quito: Escuela Politecnica Nacional.

- Ortúzar , F., Ribeiro, M., & Torres, L. (2016). *GRANDES REPRESAS: ENERGÍA DEL PASADO NI LIMPIA NI SOSTENIBLE*. Asociación Interamericana para la Defensa del Ambiente (AIDA).
- Palma Zambrano, E., & Villagómez Dávalos, E. (2010). *Análisis, evaluación y propuesta de una red de monitoreo hidrogeológico para la subcuenca del río Tarqui*. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Pauta, G., Velasco, M., Gutiérrez, D., Vázquez, G., Rivera, S., Morales, Ó., & Abril, A. (2019). Evaluación de la calidad del agua de los ríos de la ciudad de Cuenca, Ecuador. *MASKANA*, 76–88.
- Pérez Pliego, B. (2009). *ANÁLISIS DE RIESGO Y CONFIABILIDAD EN PRESAS DE TIERRA: UN CASO EN EL ESTADO DE MÉXICO*. México: Universidad Autónoma de México.
- Pesántes Coronel, J. S., & Suárez González, D. F. (2020). *Propuesta de manejo integral para la subcuenca hidrográfica del río Tarqui, provincia del Azuay*. Cuenca.
- Pesántez Quezada, J. D. (2015). *PROPUESTA DE MODELO DE GESTIÓN DE LA SUBCUENCA DEL RÍO TOMBAMBA COMO HERRAMIENTA DE MANEJO INTEGRADO Y CONSERVACIÓN*. Cuenca: Universidad del Azuay.
- Pozo Estívariz, A. (2018). *ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO DE LA CUENCA DEL RÍO PAUTE (ECUADOR)*. Santander: UNIVERSIDAD DE CANTABRIA.
- Prairie, Y., Alm , J., Beaulieu , J., Barros , N., Battin, T., Cole, J., . . . Vachon, D. (2018). Greenhouse Gas Emissions from Freshwater Reservoirs: What Does the Atmosphere See? *Ecosystems*, 21(5), 1058-1071. doi:10.1007/s10021-017-0198-9
- Prats, J., Morales Baquero, R., Dolz, J., & Armengol, J. (2014). Aportaciones de la limnología a la gestión de embalses. *Ingeniería del Agua* , 83-97.
- PROMAS. (2010). *Informe de Inundaciones del río Yanuncay*. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Ramírez Santiago, E. F. (2008). *Diseño y calculo de una obra hidrotecnica de uso múltiple*. México: Universidad Autónoma Agraria " Antonio Narro".
- Ramos Urzola , J. A., & Julio Amigo, L. F. (2012). *REGIONALIZACIÓN DE DISTRIBUCIONES HIDROLÓGICAS DE CAUDALES MÁXIMOS INSTANTÁNEOS EN COLOMBIA*. Cartagena: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR.
- Regulación Agua, E. (2020, Diciembre 19). *twitter*. Retrieved from https://twitter.com/Reg_aguaEc/status/1340286272712130561
- Rodríguez Villanueva, C. (2018). *IMPACTO AMBIENTAL EN EMBALSES*. Perú: COPEGP.
- Romero Gil, I. (2015). *ECOSISTEMAS DE AGUAS CONTIENTALES O EPICONTIENTALES*.

- Royet, P. (2002). Small concrete dams. 113-139.
- Sánchez Ramos, D. (2018). Contaminación de lagos, embalses y acuíferos. *Universidad de Castilla-Mancha*.
- Sandoval, E. (2018). Presas y Embalses. Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE.
- Sanrem CRSP, R. B. (2003). WATER RESOURCES MANAGEMENT AND WILLINGNESS TO PAY: THE CASE OF COTACACHI, ECUADOR. *Sustainable Agriculture & Natural Resource Management*.
- Santana, A. (2019). ¿ Qué es una cuenca ? *IITAAC*.
- Schmutz, S., & Moog, O. (2018). Dams: Ecological Impacts and Management. In *Riverine Ecosystem Management* (pp. 111-127). doi:10.1007/978-3-319-73250-3_6
- Segarra Rojas, J. M. (2016). *Impacto del cambio del uso del suelo sobre la calidad del agua del río Tomebamba*. Cuenca: Universidad del Azuay.
- Skinner, J., Niasse, M., & Haas, L. (2009). Sharing the benefits of large dams in West Africa. *iied*, 23-33.
- Soler Álvarez, R. (2019). *Estudio de caso: Quito. La gobernación del agua en Ecuador*. Quito: SDGF.
- Sordo Ward, Á., Jiménez Álvarez, A., Garrote de Marcos, L., & Carrasco, F. (2009). *Evaluación sobre la conveniencia de considerar el efecto laminador de los embalses para el diseño de aliviaderos, utilizando información generalmente disponible*. Ingeniería del agua.
- SPANCOLD CNEGP. (2018). *LAS PRESAS Y LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE*. España: Documento técnico de trabajo del Comité de Actividades del Ingeniero en Planificación de Recursos Hidráulicos de SPANCOLD.
- Subhajt, P., Bhaskar, S., & Hazarika, R. (2013). Environmental Impacts In The Construction Of Dams. *International Journal of INNOVATIVE RESEARCH & DEVELOPMENT*, 278-280.
- Suharyanto, A., Suhartanto, E., & Lesmana, S. B. (2020). ANÁLISIS DE CLASIFICACIÓN MORFOMÉTRICA DE CUENCAS UTILIZANDO SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA. *International Journal of GEOMATE*, 114–122. doi:<https://doi.org/10.21660/2020.74.58650>
- Tahmiscioglu, S., Anul, N., Ekmekci, F., & Durmus, N. (2011). POSITIVE AND NEGATIVE IMPACTS OF DAMS ON THE ENVIRONMENT. *BASIN WATER MANAGEMENT*, 760-762.
- Thornton, J., Steel, A., & Rast, W. (1996). Reservoirs. In *Water Quality Assessments - A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring - Second Edition*. Deborah Chapman .

- Tomer, M. D. (2014). *Watershed Management*. Elsevier. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.09117-X>.
- Toulkeridis, T., Tamayo, E., Heredia, M., Simón Baile, D., Merizalde Mora, M., Reyes Yunga, D., & Viera Torres, M. (2020). CLIMATE CHANGE ACCORDING TO ECUADORIAN ACADEMICS–PERCEPTIONS VERSUS FACTS. *LA GRANJA*, 21-49.
- UICN, S. (2018). *Aguas Compartidas, enfoques y herramientas para una mejor gestión del agua*. Quito: UICN.
- Umaña Gómez, E. (2002). *MANEJO DE CUENCAS HIDROGRAFICAS Y PROTECCIÓN DE FUENTES DE AGUA*. SAN NICOLAS: UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA .
- UNDP. (2010). *Climate Change Adaption ECUADOR*.
- UNIVERSIDAD DE CUENCA, D. D. (2017). *INVESTIGACIÓN DEL ESTADO TRÓFICO Y MONITOREO DE LA CALIDAD DE AGUA EN LOS EMBALSES DE CHANLUD Y EL LABRADO*. Cuenca: CONVENIO INTERINSTITUCIONAL.
- Universidad del Azuay. (2020). *cartografía base*. Cuenca: UDA.
- Urgilés Calle, M. G. (2015). *Análisis espacio temporal de precipitaciones e intensidades: obtención de histogramas de diseño en la cuenca alta del río Paute*. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- URS. (2006). *Estudio de Impacto Ambiental definitivo Proyecto Multipropósito BABA. Consorcio Hidroenergético del Litoral*.
- USBR. (1990). *Ayudas de capacitación para la seguridad de presas: cómo organizar un programa de operación y mantenimiento* . Denver: Departamento del Interior de los Estados Unidos, Oficina de Reclamación.
- Vallejo Llerena, E. (2014). *Análisis de las crecidas presentadas en los ríos Tarqui, Yanuncay*. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Van der Zaag, P. (2008). *AGUA*. BIOCUENCAS.
- Vásconez Echeverría, L. A., & Durán Durán, W. S. (2010). *Evaluación ambiental de la cuenca del río Gala del cantón Camilo Ponce Enríquez*. Cuenca: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.
- Vásconez, M., Mancheno, A., Álvarez, C., & Prehn, C. (2019). *Cuencas Hidrográficas*. Cuenca-Ecuador: Abya-Yala.
- Vintimilla Sarmiento, A. B., & Zhungo Ordóñez, J. P. (2013). *Estudio hidrometeorológico y análisis de caudales de crecientes en la cuenca hidrográfica del río Catarama*. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Vinueza, M. D., & Briones, V. (2011). *Monografía de la parroquia rural de Sayausí*. Cuenca.

- Votruba, L., & Broža, V. (1989). Basic Function of Water Reservoirs. *Developments in Water Science, Elsevier*, 16-60. doi:[https://doi.org/10.1016/S0167-5648\(08\)70629-4](https://doi.org/10.1016/S0167-5648(08)70629-4)
- Wang, Q. G., Du, Y. H., & Chen, K. Q. (2012). Environmental Impact Post-Assessment of Dam and Reservoir Projects: A Review . *ELSEVIER*, 1439-1443.
- Washima Tola, F. P. (2011). *EL PROYECTO HIDROELÉCTRICO PAUTE MAZAR El aplazamiento visto desde el ciclo de la política pública*. Quito: FACULTAD LATINOAMERICANA DE CIENCIAS SOCIALES SEDE ECUADOR .
- Webster, C. J. (2019). *Propuesta de un sistema de alerta temprana ante inundaciones por lluvias intensas. Caso de estudio: Río Yanuncay en Cuenca - Ecuador*. Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría" Facultad de Ingeniería Civil.
- Zhelezniakov, G. (1984). *Hidrología y regulación de escorrentía*. Moscú, Rusia.: Editorial Kolos.
- Zouiten , H. (2012). *Análisis Mediante Modelado Avanzado de Procesos de Eutrofización en Lagunas Litorales: Aplicación a Masas de Agua Atlánticas y Mediterráneas*. Santander: UNIVERSIDAD DE CANTABRIA .