

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE
AREQUIPA**

ESCUELA DE POSGRADO

**UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y
FORMALES**



**EVALUACIÓN AMBIENTAL DEL AFIANZAMIENTO HÍDRICO EN LA CUENCA
DEL RÍO SAMA, TACNA, 2021**

Tesis presentada por el Maestro:

Edgar Chaparro Aguilar

**Para optar el Grado Académico de Doctor en Ciencias y
Tecnologías Medioambientales**

Asesor: Dr. Edwin Fredy Bocado Delgado

AREQUIPA – PERÚ

2022

DEDICATORIA

A mis padres y hermanos por sus enseñanzas y constante apoyo durante la realización de la presente investigación.

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi agradecimiento:

Al Dr. Edwin Fredy Bocardo Delgado, por su constante apoyo y guía en la realización de la presente investigación.

A mis docentes del Doctorado de la UNSA por su valiosa enseñanza de las ciencias y tecnologías ambientales.

A mis amigos del Doctorado y a todos que de algún modo colaboraron con sus aportes, consejos y enseñanzas para la culminación de la presente investigación.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN	1
HIPÓTESIS	3
OBJETIVOS	3
Objetivo general	3
Objetivos específicos.....	3
VARIABLES.....	3
TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	4
NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN	4

CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO

1.1. Marco epistemológico de la investigación	5
1.2. Antecedentes de la investigación.....	6
1.2.1. Referido al caudal ecológico	8
1.2.2. Respecto a servicios ambientales.....	14
1.2.3. Referido a calidad de agua.....	17
1.3. Fundamento teórico.....	18
1.3.1. Afianzamiento hídrico	18
1.3.2. Servicios ambientales (Servicios ecosistémicos).....	19
1.3.3. Compensación y/o retribución por servicios ambientales	20
1.3.4. Cuenca hidrográfica.....	21

1.3.5. Funciones de la cuenca hidrográfica.....	23
1.3.6. Cuencas de la región Tacna	24
1.3.7. Cuenca del río Sama	25
1.3.8. Caudal ecológico (Q _e).....	28
1.3.9. Términos relacionados a caudal ecológico	30
1.3.10. Caudales de crecida	33
1.3.11. Caudal de mantenimiento	33
1.3.12. Caudal de acondicionamiento.....	33
1.3.13. Caudal de sequía	33
1.3.14. Caudal de limpieza	34
1.3.15. Régimen del caudal ecológico	34
1.3.16. Metodología de determinación de caudal ecológico	36
1.3.17. Ventajas y desventajas de los diferentes enfoques metodológicos.....	59
1.3.18. Gestión integral de los recursos hídricos (GIRH).....	62
1.3.19. Represa	64
1.3.20. Elementos constitutivos de una represa.....	65
1.3.21. Principales problemáticas en la gestión ambiental de represas	66
1.3.22. Impactos ambientales en las diferentes fases del proyecto de una represa.....	71

CAPÍTULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Descripción de la unidad de estudio	80
2.2. Determinación del caudal ecológico	83
2.3. Identificación de servicios ambientales afectados por el caudal ecológico	84
2.3.1. Evaluación de la composición de biomasa total en la cuenca el río Sama	86

CAPÍTULO III
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Respecto al caudal ecológico.....	91
3.1.1. Datos de la estación de Coruca.....	92
3.1.2. Datos de puente Tomasiri.....	95
3.1.3. Determinación del caudal ecológico.....	96
3.2. Servicios ambientales que serían afectados por el caudal ecológico.....	97
3.2.1. Calidad de agua.....	97
3.2.2. Efecto del caudal ecológico sobre la biodiversidad.....	105
3.2.3. Composición de biomasa total en la cuenca el río Sama.....	111
3.2.4. Factores culturales.....	120
3.2.5. Ecosistemas y usos de suelo.....	121
3.2.6. Efectos sobre actividades socio económicas.....	122
3.3. Propuesta de plan de manejo ambiental.....	123
CONCLUSIONES.....	127
RECOMENDACIONES.....	128
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	129
ANEXOS.....	139

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág
Figura 1 Cuenca hidrográfica	21
Figura 2 Interacciones de elementos de una cuenca hidrográfica	23
Figura 3 Metodologías del enfoque hídrico.....	37
Figura 4 Caudales medios mensuales multianuales (m ³ /s).....	40
Figura 5 Perímetro mojado vs caudal y sección transversal.....	44
Figura 6 Curva de preferencia referencial de la trucha arco iris (<i>Onchorhynchus mykiss</i>) para la variable velocidad.....	49
Figura 7 Relación Q-IH para los cuatro estadios de la trucha común (<i>Salmo trucha</i>)	50
Figura 8 Flujo de trabajo IFIM	51
Figura 9 Esquema del funcionamiento del método IFIM.....	52
Figura 10 Gestión integrada de los recursos hídricos.....	63
Figura 11 La gestión integrada de los recursos hídricos	63
Figura 12 Elementos constitutivos de una presa	66
Figura 13 Ubicación del proyecto de afianzamiento hídrico de la cuenca río Sama	80
Figura 14 Diseño de transectos para evaluación de diferentes componentes de la biomasa vegetal.....	87
Figura 15 Cuadrantes de 1 m x 1 m para material herbáceo y arbustivo, y cuadrantes interiores de 0,5 m x 0,5 m para hojarasca	88
Figura 16 Ubicación de las estaciones de monitoreo de caudal consideradas	91
Figura 17 Caudales promedio históricos mensuales para el río Sama estación de Coruca.....	93
Figura 18 Caudales promedio históricos anuales para el río Sama estación de Coruca.....	94
Figura 19 Caudales promedio mensuales para el río Sama Puente Tomasiri.....	96
Figura 20 Ubicación de los puntos de monitoreo de calidad de agua	98
Figura 21 Valores de cloruros en las estaciones de monitoreo de calidad de agua en el río Sama comparados con los ECAs del D.S. 004-2017-MINAN.....	100

Figura 22 Valores de conductividad en las estaciones de monitoreo de calidad de agua en el río Sama comparados con los ECAs del D.S. 004-2017-MINAN.....	101
Figura 23 Valores de sulfatos en las estaciones de monitoreo de calidad de agua en el río Sama comparados con los ECAs del D.S. 004-2017-MINAN.....	102
Figura 24 Valores de arsénico en las estaciones de monitoreo de calidad de agua en el río Sama comparados con los ECAs del D.S. 004-2017-MINAN.....	103
Figura 25 Valores de boro en las estaciones de monitoreo de calidad de agua en el río Sama comparados con los ECAs del D.S. 004-2017-MINAN.....	104
Figura 26 Valores de coliformes termotolerantes en las estaciones de monitoreo de calidad de agua en el río Sama comparados con los ECAs del D.S. 004-2017-MINAN.....	105
Figura 27 Porcentaje del número de especies por estrato en el monte ribereño de la parte baja del río Sama.....	109
Figura 28 Vistas (a y b) del monte ribereño de la parte baja del río Sama.....	110
Figura 29 Ubicación de parcelas para evaluación de biomasa vegetal.....	112
Figura 30 Vista aérea de la zona de composición de biomasa a determinar entorno al río Sama dentro del área de embalse.....	114
Figura 31 Medición para la determinación del DAP de biomasa arbórea.....	114
Figura 32 Evaluación de cuadrantes para determinar biomasa arbustiva y herbácea.....	116
Figura 33 Determinación del peso fresco de la biomasa arbustiva y herbácea.....	117
Figura 34 Determinación del peso fresco de hojarasca.....	118
Figura 35 Organización para la respuesta ante contingencias.....	126

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág
Tabla 1 Variables e indicadores.....	3
Tabla 2 Características hidrológicas de la cuenca sama	27
Tabla 3 Descarga del recurso hídrico en la cuenca Sama.....	28
Tabla 4 Régimen de caudal para peces, vida silvestre, recreación y recursos ambientales	39
Tabla 5 Recomendaciones de caudal medio para tres periodos del año.....	40
Tabla 6 Criterios recomendados para las variables de R2CROSS según el ancho del rio	46
Tabla 7 Asunciones optadas por King y Louw para la aplicación del método BBM.....	59
Tabla 8 Matriz para identificación de impactos propuesta por la comisión de grandes represas	79
Tabla 9 Servicios ecosistémicos identificados entorno de la zona afectada del río Sama	85
Tabla 10 Caudales medios mensuales del rio Sama en la Estación Coruca (m ³ /s)	92
Tabla 11 Caudales medios mensuales del rio Sama en el Puente Tomasiri (m ³ /s)	95
Tabla 12 Resultados los monitoreos fisicoquímicos y microbiológicos en el rio Sama	98
Tabla 13 Clasificación del agua para riego según Wilcox.	102
Tabla 14 Especies del estrato arbóreo identificadas en el monte ribereño de la parte baja del río Sama	106
Tabla 15 Especies del estrato arbustivo identificadas en el monte ribereño de la parte baja del río Sama.....	107
Tabla 16 Especies del estrato herbáceo identificadas en el monte ribereño de la parte baja del río Sama.....	108
Tabla 17 Actitud acuícola de los recursos hídricos de la cuenca del río Sama	111
Tabla 18 Coordenadas geográficas UTM del área de evaluación de biomasa vegetal entorno del río Sama dentro del área de embalse	113
Tabla 19 Diámetro y biomasa de los diferentes especies arbóreas.....	115
Tabla 20 Biomasa arbustiva y herbácea en la cuenca del río Sama	117

Tabla 21 Biomasa de hojarasca en la cuenca del río Sama	119
Tabla 22 Biomasa vegetal total (t/ha).....	120

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág
Anexo 1 Mapa de ubicación del proyecto	140
Anexo 2 Mapa hidrográfico de la cuenca de río Sama.....	141
Anexo 3 Mapa de evidencia arqueológica	142
Anexo 4 Mapa de ecosistemas	143
Anexo 5 Mapa de áreas agrícolas.....	144
Anexo 6 Mapa de ubicación de viviendas.....	145
Anexo 7 Mapa de influencia del proyecto.....	146
Anexo 8 Propuesta de plan de manejo ambiental.....	147

RESUMEN

Se realizó una evaluación ambiental de la instalación de infraestructura para afianzamiento hídrico en la zona del río Sama, considerando fundamentalmente la aplicación del caudal ecológico, para ello se utilizó el método hídrico e hidrográfico con la data histórica del caudal del río Sama en la estación Coruca, se determinó que el caudal ecológico corresponde al 15 % del caudal promedio histórico con un valor de 0,386 m³/s; valor que coincide con el establecido por el estudio hídrico correspondiente; también se reconoció que los servicios ambientales afectados corresponden a la calidad de agua identificada como un servicio de abastecimiento; y la biodiversidad como un servicio de regulación, este último se ve afectado por la modificación del monte ribereño y los cambios en el potencial de las especies hidrobiológicas de la zona. Por ello se plantea un plan de manejo exclusivo para el control de caudal ecológico el cual consta de un programa de monitoreo y un programa de contingencia, el primero relacionado con el cumplimiento de los caudales ecológicos a lo largo de todo el año y los efectos que pueda generar sobre los servicios ambientales identificados, y el segundo presenta las medidas ante la alerta del no cumplimiento del caudal ecológico.

Palabras clave: Afianzamiento hídrico, caudal ecológico, servicio ambiental.

ABSTRACT

An environmental evaluation of the installation of infrastructure for water reinforcement in the area of the Sama River was carried out, mainly considering the application of the ecological flow, for this purpose the hydrographic and hydrographic method was used with the historical data of the Sama River flow at the Coruca station, it was determined that the ecological flow corresponds to 15 % of the historical average flow with a value of 0,386 m³/s; a value that coincides with that established by the corresponding water study; it was also recognized that the environmental services affected correspond to water quality identified as a supply service; and biodiversity as a regulation service, the latter is affected by the modification of the riparian forest and changes in the potential of hydrobiological species in the area. Therefore, an exclusive management plan is proposed for controlling the ecological flow, which consists of a monitoring program and a contingency program, the first related to compliance with the ecological flow throughout the year and the effects it may have on the identified environmental services, and the second presents the measures to be taken in the event of an alert in the event of non-compliance with the ecological flow.

Keywords: Water consolidation, ecological flow, environmental service

INTRODUCCIÓN

En el Perú desde hace algunos años, se vienen desarrollando diversos estudios hidrológicos en cuencas, y sabiendo la necesidad del país de alcanzar un mayor conocimiento integral y constante de la capacidad de sus recursos hídricos, que lo lleven a un uso racional y planificado, desde un enfoque social, económico, ambiental y teniendo en cuenta la participación de todos los actores involucrados en el consumo de agua de la cuenca, entorno a sus limitaciones. Estos estudios hidrológicos, no solo se ampara en la necesidad de contar con una evaluación y cuantificación de los recursos hídricos disponibles, sino también obtener fundamentos que permitan comprender el mecanismo hidrológico de la cuenca y de ello percibir en tanto a sus restricciones y beneficios que la cuenca ofrece como un sistema natural de agua superficial.

Cuando se habla de afianzamiento hídrico se refiere a mantener la seguridad hídrica, concepto que ha tomado mucha importancia a través del tiempo, por lo que se ha venido desarrollando un conjunto de estudios orientados a la realización de obras de regulación que permitan optimizar el aprovechamiento de los recursos hídricos en cuencas y subcuencas del país. Por lo tanto el afianzamiento hídrico busca la estabilidad de una cuenca a través de la construcción de represas u otra estructura que permita el almacenaje de agua superficial en temporadas de lluvias y ser empleadas en temporadas de sequía. De esta forma se afrontaría las actuales y futuras demandas hídricas.

Los proyectos enfocados en la construcción de represas conllevan a realizar modificaciones importantes en los sistemas ecológicos, transformando los ecosistemas terrestres en acuáticos, y que por medio de estas obras, optimizar la captación del recurso hídrico para abastecer áreas agrícolas de la zona y otros servicios. Estas infraestructuras son construidas sobre un determinado cauce natural de agua implicando variaciones en la dinámica de ecosistemas, disminución o pérdida de biodiversidad, interrupción del flujo de origen y continuidad hídrica y convirtiéndose en recolectores de eventos hidrológicos.

En la región Tacna, históricamente tiene el gran problema respecto al abastecimiento de agua, ya que al depender de uno de los ríos con cuenca irregular, como corresponde al río Sama, y con los diferentes aspectos respecto a la climatología de la zona, el agua corresponde a un recurso natural bastante escaso en la región; es por lo tanto de suma urgencia el desarrollo de proyectos que permiten la instalación de una infraestructura que mejore la disposición hídrica

en la ciudad de Tacna y además para las actividades de agricultura. Sin embargo, como consecuencia de estos proyectos no se debe dejar de lado el riesgo ambiental que genera disponer de una cantidad excesiva del recurso agua sobre todo por los impactos que generaría en la parte baja de la cuenca; es por ello que la determinación de los denominados caudales ecológicos resulta fundamental para proteger la biodiversidad natural de los ríos, que se pondría en riesgo si es que se hace una extracción excesiva del recurso hídrico.

Por lo que el caudal ecológico representa la mínima cantidad de agua que debe discurrir por el cauce de un río sin que se genere daño sobre los componentes bióticos y abióticos del mismo, y su cálculo está referido a metodologías internacionalmente aceptadas, que en el caso del Perú han sido normadas a través de la Autoridad Nacional del Agua (ANA).

Por lo tanto, la presente tesis tuvo por objetivo principal evaluar ambientalmente la instalación de infraestructura para afianzamiento hídrico en la zona del río Sama. Los objetivos específicos fueron, determinar el caudal ecológico viable para la construcción de infraestructura para afianzamiento hídrico en la zona del río Sama, analizar de los servicios ambientales afectados por la construcción de infraestructura para afianzamiento hídrico en la zona del río Sama, y diseñar un plan de manejo ambiental en la construcción de infraestructura para afianzamiento hídrico en la zona del río Sama.

La presente tesis se dividió en cuatro capítulos los cuales tratan diferentes aspectos: El capítulo I consistente de un marco epistemológico que comprende la justificación, objetivos, hipótesis, variables, el tipo de diseño de investigación y el nivel de investigación. En el Capítulo II se contempla el marco teórico con antecedentes tanto internacionales y nacionales, y un fundamento teórico que define bases teóricas y definiciones. El Capítulo III describe los materiales y métodos de la tesis, ubicación de unidad de estudio, determinación del caudal ecológico, y determinación de servicios ambientales afectados por el caudal ecológico. El Capítulo IV consta de los resultados y discusiones, aquí se muestran los resultados de la tesis de acuerdo a los objetivos planteados, datos recolectados de estaciones meteorológicas, y la discusión que es información que proviene de resultados de otras investigaciones. La tesis culmina con las conclusiones, recomendaciones pertinentes, bibliografía consultada y los anexos referidos.

HIPÓTESIS

De acuerdo a lo determinado por observaciones previas, se cree posible que las estructuras instaladas para el afianzamiento hídrico generen efectos sobre el cauce del río Sama y que los mismos puedan ser dimensionados y controlados a partir de la determinación de caudales ecológicos y servicios ambientales modificados.

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar ambientalmente la instalación de la infraestructura para el afianzamiento hídrico en la zona del río Sama.

Objetivos específicos

1. Determinar el caudal ecológico viable para la construcción de la infraestructura para afianzamiento hídrico en la zona del río Sama.
2. Identificar los servicios ambientales afectados por la construcción de la infraestructura para afianzamiento hídrico en la zona del río Sama.
3. Diseñar un plan de manejo ambiental en la construcción de la infraestructura para afianzamiento hídrico en la zona del río Sama.

VARIABLES

Tabla 1

Variables e indicadores

Variables	Indicadores
INDEPENDIENTE	- Caudales
Afianzamiento hídrico	- Balance hídrico
	- Grupos de interés
DEPENDIENTE	- Caudal ecológico
Efectos de infraestructura	- Servicios ambientales

TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

- Según su finalidad es:

Aplicada, dado que los aportes están orientados a la comprensión de la realidad que involucra la influencia del estudio en específico como disciplina científica que para esta investigación abarca la gestión de recursos hídricos.

- Según el diseño de investigación es:

No experimental, también denominada como post facto, dado que este estudio consiste en observar sucesos sin intervenir en el fenómeno ni en el entorno estudiado, puesto que en la determinación de caudales ecológicos y servicios ambientales fueron realizados previamente a la construcción de la infraestructura.

- Según su prolongación en el tiempo es:

Transversal o sincrónica; dado que el estudio se ciñe a un momento en específico, un periodo de tiempo durante el año con la finalidad de caracterizar los eventos en un determinado periodo de tiempo.

- Según el énfasis en la naturaleza de la información base es:

Cuantitativa, ya que la importancia del estudio en cuanto a los datos obtenidos está basado en el cálculo y la cuantificación de los mismos.

NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN

El nivel de una investigación está determinado de acuerdo al grado de profundidad y alcance que se pretende para la misma.

En este caso, en la presente investigación estamos ante un estudio correlacional; porque compara dos variables, la variable independiente correspondiente al afianzamiento hídrico y la variable dependiente que corresponde al efecto infraestructura.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Marco epistemológico de la investigación

El incremento del uso y aprovechamiento del recurso hídrico en gran parte del mundo, ha conllevado a realizar serias investigaciones enfocadas a las consecuencias que podrían generarse sobre los ecosistemas, ello ocasionado por las alteraciones de las características hidrologías en los cauces de río, y nuestro país, Perú, no es ajeno a estas alteraciones hidrológicas. Por lo que, determinar una cantidad necesaria de caudal permitiría administrarse hacia los ecosistemas tanto acuáticos y terrestres de una forma adecuada, es decir, que con un volumen necesario de agua todas la especies que dependan de este recurso natural no sean afectados ni a corto ni a largo plazo.

Determinar el caudal ecológico significa obtener un valor de flujo en el cauce del río, sin embargo, de acuerdo a las diferentes metodologías existentes de hallar el caudal ecológico generaría distintos posibles resultados de una misma sección del cauce entre los investigadores. Por ello se debe considerar utilizar un determinado método para calcular el caudal ecológico de acuerdo a la normativa establecida de cada país, esto permitiría obtener una mejor dispersión de resultados, de acuerdo a las exigencias requeridas.

En las áreas de estudio donde se caracterizan por presentar escasez de recursos hídricos, se considera la realización de posibles afianzamientos hídricos. Es indudable la necesidad de contar con el recurso agua, sobre todo en determinadas zonas desérticas del país, este es el caso de la región Tacna donde la cual escasez de agua termina siendo un elemento sumamente determinante en el desarrollo social y económico de la región, sin embargo, el afianzamiento hídrico de la cuenca debe considerar ciertos elementos de planificación en los cuales se involucre determinados elementos ambientales fundamentales para el funcionamiento de todo el ecosistema, considerando en este último término a la parte social, económica y ambiental; es por ello que resulta muy importante desarrollar una evaluación ambiental respecto a los proyectos de afianzamiento hídrico para la zona de la cuenca del río Sama, que termina siendo la fuente significativa de agua para la región Tacna; este análisis involucra fundamentalmente el caudal ecológico y los servicios ambientales que se van a ver afectados por las obras de afianzamiento hídrico.

1.2. Antecedentes de la investigación

Fontana (2021) publica “La vegetación reófila del nordeste argentino. Los efectos de la represa de Yacyretá (Argentina y Paraguay) sobre comunidades reófilas” menciona que la represa de Yacyretá construida entre Argentina y Paraguay, afectó la vegetación reófila propia de los saltos y correderas de sector del Río Paraná. Estudios previos a la construcción y posteriores relevamientos, permitieron comparar en un antes y un después el estado situacional de la vegetación reófila. Las obras realizadas afectaron de diferente manera sobre las comunidades de reófitos; ciertas especies como *Mourera aspera* desaparecieron de la zona; otras, como la especie endémica *Wettsteiniola apipensis*, posiblemente se haya extinguido; el matorral de *Phyllanthus sellowianus* (Sarandí) redujo su extensión considerablemente al eliminar los saltos y correderas de ese sector. Acerca de otros reófitos hallados, no existe información histórica y solo fueron encontrados durante y después de la construcción, como la especie *Podostemum rutifolium* y *Marathrum azarensis*, por lo que no se logró identificar la reacción de estas especies frente a las modificaciones del cauce del río.

Andrade y Olaya (2021) publicaron “Impactos económicos, sociales y ambientales generados por las grandes hidroeléctricas. Una revisión” donde se indica que, mediante la exploración de diferentes publicaciones especializadas en la base de datos Scopus, se identifica los impactos económicos, sociales y ambientales existentes más comunes de las grandes centrales hidroeléctricas, así como los más importantes o frecuentes, reconociendo sus principales similitudes y diferencias de tales impactos encontrados en el estudio ex-ante que se realizan para el trámite de la licencia ambiental del proyecto y los registrados en el estudio ex-post, es decir el que se efectúa después de la fase constructiva del proyecto.

De la Lanza et al. (2018) publica “Caudal ecológico de ciertos ríos que descargan al Golfo de México y al Pacífico Mexicano” donde se menciona que, el manejo del recurso agua es uno de los mayores problemas que afronta México debido al desconocimiento de la variabilidad espacio-temporal del recurso hídrico. Dicho manejo del agua se enfoca en el consumo humano y sus actividades económicas, pero no considerando el volumen requerido que necesitan los ecosistemas y servicios ambientales para su sustentabilidad. Ante ello, las instituciones gubernamentales, académicas y organizaciones de la sociedad civil plantearon una metodología para determinar el caudal ecológico en un conjunto de principales cuencas consideradas como futuras reservas de agua, con impacto tanto para la conservación como para su recuperación.

Con la aplicación la metodología, la investigación tuvo como objetivo estimar el caudal ecológico ordinario estacional (Qecol) de diversos ríos con diferentes grados de impacto y en distintas condiciones climáticas, tanto de la vertiente del Golfo de México como del Pacífico mexicano. En las cuencas estudiadas del Golfo de México con un porcentaje de Qecol, destacaron por su “Importancia Ecológica Muy Alta”: Pánuco (74 %), Papaloapan (78 %), Grijalva (68 %), Palizada (81 %), y Candelaria (62 %). Por el lado del Pacífico sobresalieron por tener la “Mayor Presión del Uso del Agua” y un porcentaje de Qecol bajo, las cuencas de Culiacán (4 %) y Tehuantepec (15 %).

Grizzetti et al. (2017) publicaron “Human pressures and ecological status of European rivers” menciona que los seres humanos han aumentado la descarga de contaminación, alterado el régimen del flujo de agua y modificado la morfología de los ríos. Todas estas acciones han resultado en múltiples presiones sobre los ecosistemas de agua dulce, socavando su biodiversidad y funcionamiento ecológico. La Unión Europea ha adoptado una política de agua ambiciosa para reducir las presiones y lograr un buen estado ecológico para todos los cuerpos de agua. Sin embargo, evaluar las múltiples presiones sobre los ecosistemas acuáticos y comprender su impacto combinado en el estado ecológico es un desafío, especialmente a gran escala, aunque crucial para la planificación de políticas efectivas. Aquí, por primera vez, cuantificamos múltiples presiones humanas y su relación con el estado ecológico de todos los ríos europeos. Consideramos los datos ecológicos recopilados en toda Europa y las presiones evaluadas por modelos paneuropeos, incluida la contaminación, las alteraciones hidrológicas e hidromorfológicas. Estimamos que en un tercio del territorio de la UE los ríos se encuentran en buen estado ecológico. Descubrimos que un mejor estado ecológico está asociado con la presencia de áreas naturales en las llanuras aluviales, mientras que la urbanización y la contaminación por nutrientes son predictores importantes de la degradación ecológica. Exploramos escenarios de mejora del estado ecológico de los ríos para Europa. Nuestros resultados refuerzan la necesidad de detener la ocupación de tierras urbanas, frenar la contaminación por nitrógeno y mantener y restaurar la naturaleza a lo largo de los ríos.

Skoulikidis et al. (2017) en su publicación “Non-perennial Mediterranean rivers in Europe: status, pressures, and challenges for research and management” se menciona que los ríos y arroyos no perennes (NPRS) cubren > 50 % de la red fluvial mundial. Son particularmente predominantes en la Europa mediterránea como resultado de las condiciones climáticas secas,

el cambio climático y el desarrollo del uso de la tierra. Históricamente, tanto los científicos como los responsables de la formulación de políticas subestimaron la importancia de los NPRS para la naturaleza y los seres humanos por igual, principalmente porque se los ha considerado como sistemas de bajo valor ecológico y económico. Durante las últimas décadas, la disminución de los recursos hídricos ha aumentado la extensión espacial y temporal de las NPRS artificiales, así como su exposición a múltiples factores de estrés, que amenazan su integridad ecológica, la biodiversidad y los servicios de los ecosistemas. En este documento, proporcionamos una visión general completa de las características estructurales y funcionales de las NPRS en el Mediterráneo europeo, y discutimos las lagunas y problemas en su gestión, con respecto a su tipología, evaluación ecológica, protección legislativa y política, e incorporación en los planes hidrológicos de cuenca. Debido a que las NPRS comprenden ecosistemas altamente inestables, con una variabilidad temporal y espacial fuerte y, a menudo, impredecible, al menos en la medida en que es posible evaluar, describimos las necesidades de investigación futuras requeridas para comprender, administrar y conservar mejor como ecosistemas altamente valiosos y sensibles. Se necesitan con urgencia actividades de colaboración eficientes entre grupos de investigación multidisciplinarios con el objetivo de crear conocimientos innovadores, gestores del agua y responsables políticos para establecer una base metodológica y legislativa adecuada. La incorporación de las NPRS en los planes de gestión de cuencas hidrográficas de la UE y el Mediterráneo en combinación con la aplicación de caudales ecológicos es un primer paso hacia la mejora de la gestión y conservación de las NPRS con el fin de salvaguardar eficazmente estos ecosistemas de gran valor, aunque amenazados.

1.2.1. Referido al caudal ecológico

Poff et al. (2017). En su artículo titulado “Evolution of environmental flows assessment science, principles, and methodologies” en la que se menciona que la ciencia de la evaluación de los caudales ambientales se centra principalmente en definir cómo se pueden gestionar los regímenes de caudales modificados (de la infraestructura hídrica y la extracción directa de agua) para conservar o restaurar las condiciones ecológicas deseadas por la sociedad en los ríos y otros sistemas de humedales. Los fundamentos de la ciencia se basan en la comprensión hidroecológica y el conocimiento derivado de la observación empírica, el conocimiento indígena (partes interesadas) y la modelización.

Las relaciones flujo-ecología son la base aceptada de las recomendaciones ambientales modernas del agua, y los enfoques holísticos (ecosistémicos) han evolucionado como la principal esfera de innovación durante los últimos 40 años. Las aplicaciones de agua ambiental están aumentando en sofisticación desde el nivel de planificación de escritorio hasta la gestión avanzada del agua de cuencas fluviales y paisajes más amplios. Nuevas regiones se están comprometiendo con la empresa del agua ambiental y avanzan la ciencia, aumentando el rigor, la implementación y la adopción de políticas. Esta desafiante plataforma científica y de políticas enfrenta nuevos desafíos para integrar otros factores ambientales parcialmente o no relacionados con el flujo que pueden limitar los resultados ecológicos de la restauración puramente hidrológica. Entre ellos, los principales son la alteración del régimen de sedimentos, la alteración del régimen térmico y las características hidráulicas del canal en tramos re-regulados. Además, el rápido crecimiento de la población humana, las condiciones ecológicas cambiantes (líneas de base) y el cambio climático crean nuevos desafíos para el agua ambiental. Por lo tanto, la disciplina debe pasar de una perspectiva centrada históricamente en la restauración de la referencia a una que apunte a la adaptación frente al cambio hidrológico y ecológico y la creciente incertidumbre. Cada vez será más importante depender menos de las relaciones estadísticas flujo-ecología y más énfasis en la comprensión del proceso de los controles hidrológicos sobre la dinámica ecológica. Además, el enfoque a escala local de la ciencia del agua ambiental deberá expandirse a una perspectiva más amplia a escala de cuenca que considere la conectividad del hábitat y los movimientos de especies que son componentes críticos para lograr la conservación del agua dulce. En resumen, proporcionamos siete elementos rectores que probablemente promoverán el avance exitoso de la ciencia del agua ambiental y su implementación en los próximos años.

Arthington et al. (2018a) en su publicación “The Brisbane declaration and global action agenda on environmental flows” en el que se hace referencia a que hace una década, los científicos y profesionales que trabajan en la gestión ambiental del agua cristalizaron el progreso y la dirección de la ciencia, la práctica y la política de los flujos ambientales en la Declaración de Brisbane y la Agenda de Acción Global, durante el X Simposio Internacional de Rivers y la Conferencia Internacional de Flujos Ambientales celebrada en Brisbane, Australia. La Declaración de 2007 destaca la importancia de las asignaciones ambientales de agua para los seres humanos y los ecosistemas que dependen del agua

dulce, y establece una agenda de acción global de nueve puntos. Este fue el primer documento de consenso que reunió las diversas experiencias en todas las regiones y disciplinas, y fue importante para establecer una visión y una dirección comunes para los caudales ambientales a nivel internacional. Después de una década de adopción e innovación en los caudales ambientales, la declaración de 2007 y la agenda de acción se revisaron en el 20° Simposio Internacional de Rivers y la Conferencia de Caudales Ambientales, celebrada en Brisbane, Australia, en 2017. El objetivo era dar a conocer los logros desde 2007 y actualizar la declaración. Y agenda de acción para reflejar el progreso colectivo, la innovación y los desafíos emergentes para la política, la práctica y la ciencia de los caudales ambientales en todo el mundo. Este documento sobre la Declaración de Brisbane y la Agenda de Acción Global sobre Flujos Ambientales) describe los procesos de consulta inclusivos que guiaron la revisión del documento de 2007. La Declaración de 2018 presenta un llamado urgente a la acción para proteger y restaurar los caudales ambientales y los ecosistemas acuáticos para su biodiversidad, valores intrínsecos y servicios de los ecosistemas, como un elemento central de la gestión integrada de los recursos hídricos y como base para el logro de los recursos hídricos sostenibles relacionados con el agua. Objetivos de desarrollo (ODS). La Agenda de Acción Global hace 35 recomendaciones prácticas para guiar y apoyar la implementación de caudales ambientales a través de legislación y regulación, programas de gestión del agua e investigación, vinculados por acuerdos de asociación que involucran a diversas partes interesadas. Un elemento nuevo e importante de la Declaración y Agenda de Acción es el énfasis que se le da a la participación plena e igualitaria de las personas de todas las culturas, y al respeto de sus derechos, responsabilidades y sistemas de gobernanza en las decisiones ambientales sobre el agua. Estas dimensiones sociales y culturales de la gestión del flujo electrónico merecen mucha más atención. Las recomendaciones prácticas presentan un camino a seguir para una nueva era de investigación científica e innovación, visiones compartidas, programas de implementación colaborativa y gobernanza adaptativa de los caudales ambientales, adecuados a los nuevos contextos sociales y ambientales impulsados por presiones planetarias, como el crecimiento de la población humana y el Cambio de clima.

Kuriqi et al. (2019a) publicaron “Flow regime aspects in determining environmental flows and maximising energy production at run-of-river hydropower plants”. Este estudio

investiga la influencia del tipo de régimen de caudal del río en las emisiones de e-flow y la producción de energía hidroeléctrica, restringida por ocho métodos de e-flow basados en la hidrología. Para ello, se analizaron 20 centrales hidroeléctricas de pasada hasta 10MW, de cinco cuencas de la Península Ibérica, ubicadas en regiones con regímenes pluviales muy fluctuantes, pluviales estables, de invierno pluvial y de caudales pluviales. Integramos un modelo hidroeléctrico con un modelo hidrológico y ocho métodos de e-flow para estimar la producción hidroeléctrica media diaria, los e-flow y la alteración hidrológica. Los resultados demuestran poca influencia en la producción de energía hidroeléctrica y las liberaciones de e-flow para el tipo de régimen pluvial, en particular, tramos fluviales de régimen pluvial estable. El régimen pluvionival proporciona una producción hidroeléctrica inestable y una alteración de los flujos electrónicos comparativamente alta. En general, los parámetros hidrológicos representados por cinco índices globales derivados de los indicadores de alteración hidrológica se vieron afectados de manera diferente por el régimen de liberaciones de e-flow inducido por los métodos de e-flow probados. En general, los métodos de e-flow que involucran caudal mínimo anual e índices de curva de duración del caudal muestran resultados inconsistentes entre todos los casos de estudio y tipos de regímenes hidrológicos; o dan como resultado altas emisiones de e-flow al tiempo que reducen drásticamente la producción de energía hidroeléctrica o viceversa. Sin embargo, los llamados enfoques dinámicos demuestran resultados consistentes y son más adecuados, tanto en términos de producción de energía hidroeléctrica como de emisiones de e-flow, proporcionando por lo tanto entre un 10 % y un 35 % más de producción de energía con poco impacto en varios parámetros hidrológicos. Los hallazgos de este estudio pueden servir como punto de partida para iniciar una nueva discusión sobre los métodos y criterios que deben establecerse con respecto a la determinación de los caudales electrónicos en las centrales hidroeléctricas de pasada.

Arthington et al. (2018b) en su publicación “Recent advances in environmental flows science and water management—Innovation in the Anthropocene” se menciona que la implementación de regímenes de caudal ambiental ofrece un medio prometedor para proteger y restaurar los ecosistemas ribereños, de humedales y estuarios, sus servicios ambientales críticos y valores culturales / sociales. Se amplía el alcance de los caudales ambientales y la ciencia del agua en la teoría y la práctica, ofreciendo 20 artículos de

académicos, investigadores de agencias y organizaciones no gubernamentales, cada uno con nuevas perspectivas sobre la ciencia y la gestión de las asignaciones de agua ambiental. Las contribuciones enfrentan el gran desafío de los caudales ambientales y la gestión del agua en el Antropoceno: la urgente necesidad de innovaciones que ayuden a mantener la resiliencia innata de los sistemas socioecológicos bajo futuros ambientales y sociales dinámicos e inciertos. Las evaluaciones regionales y a escala de cuenca de los requisitos de caudal marcan un avance necesario en la ciencia del agua ambiental frente a los rápidos cambios en las actividades de gestión de los recursos hídricos en todo el mundo (por ejemplo, aumentos en las presas, desviaciones, retención y reutilización). Las técnicas para la modelización hidrológica y ecohidrológica a escala regional apoyan la evaluación de riesgos ecológicos y la identificación de acciones prioritarias de gestión de caudales y restauración de ríos. Los ciclos cambiantes de inundaciones y sequías, los cambios climáticos a largo plazo y los efectos asociados sobre los regímenes hidrológicos, térmicos y de calidad del agua añaden una enorme incertidumbre a la predicción de los resultados ecológicos futuros, independientemente de las asignaciones ambientales de agua. Es esencial una capacidad mejorada para predecir las trayectorias del cambio ecológico en los ríos degradados por legados de impactos pasados que interactúan con las condiciones actuales y el cambio climático futuro. De lo contrario, corremos el riesgo de expectativas poco realistas de la restauración de los regímenes de flujo de ríos y estuarios. Está surgiendo un enfoque más sólido, dinámico y predictivo de la ciencia ambiental del agua. Fomenta la medición de las tasas de proceso (por ejemplo, tasa de natalidad, tasa de colonización) y los rasgos de las especies (por ejemplo, requisitos fisiológicos, adaptaciones morfológicas), así como los estados del ecosistema (por ejemplo, riqueza de especies, estructura de ensamblaje), como las variables que representan las respuestas ecológicas a la variabilidad del flujo y asignaciones ambientales de agua. Otro avance necesario es la incorporación de otras variables ambientales como la temperatura del agua y los procesos sedimentarios en los modelos de respuesta ecológica de flujo. Con base en las contribuciones a este número especial, varias compilaciones recientes y la literatura más amplia, identificamos seis desafíos científicos importantes para una mayor exploración y siete temas para avanzar en la gestión del agua ambiental. Consideramos que la frontera emergente de los caudales ambientales y la ciencia del agua es urgente y desafiante, con numerosas oportunidades para revitalizar la ciencia y la innovación

metodológica en la empresa en expansión del agua ambiental vinculada a la sostenibilidad ecológica y el bienestar social.

Poff (2018) publica “Beyond the natural flow regime? Broadening the hydro-ecological foundation to meet environmental flows challenges in a non-stationary world” en el que se refiere que el concepto de régimen de flujo natural ha contribuido significativamente a la ciencia y las aplicaciones de los flujos ambientales (e-flow) durante los últimos 20 años. Los regímenes de flujo natural reflejan patrones históricos a largo plazo de variabilidad de flujo que han dado forma a las adaptaciones de las especies ribereñas y continúan configurando la estructura y función de la comunidad y el ecosistema. Esta perspectiva científica, sin embargo, conlleva importantes supuestos sobre la estacionariedad climática y ecológica en términos de condiciones de referencia que proporcionan una base para comparar el éxito o los resultados de las intervenciones de e-flow. La no estacionariedad en el clima y otras condiciones ambientales (temperatura, sedimentos, nutrientes) y en las características ecológicas (dispersión de especies no nativas) presenta importantes desafíos para la ciencia de los caudales ambientales. Ya no es sostenible depender del supuesto de restauración a las condiciones de referencia para condiciones hidrológicas o ecológicas, y se necesita una base científica ampliada de flujos electrónicos para enfrentar varios desafíos que enfrentan las futuras implementaciones de flujos electrónicos. Las limitaciones actualmente reconocidas de la ciencia de los flujos electrónicos contribuyen al surgimiento de fronteras de investigación que necesitan un mayor desarrollo. Estos son (1) el cambio de métricas de flujo estáticas basadas en régimen a caracterizaciones de flujo dinámicas que varían en el tiempo; (2) expandir las métricas ecológicas (y escalas de espacio-tiempo) utilizadas en los flujos electrónicos desde la dependencia primaria en los estados del ecosistema para incluir tasas de proceso (población) y rasgos de especies; (3) incorporar otras características ambientales sin flujo (por ejemplo, temperatura, sedimentos) para orientar la priorización de aplicaciones de flujos electrónicos con probabilidad de éxito; y (4) ampliar la base ecológica de los flujos electrónicos para incorporar una teoría más ecológica que contribuirá a una ciencia más predictiva. La perspectiva del régimen de flujo natural de la gestión de la variabilidad histórica seguirá siendo importante para comprender la respuesta ecológica a las alteraciones hidrológicas y para informar la gestión de los flujos electrónicos. Sin embargo, en condiciones hidroclimáticas y ecológicas cambiantes, está surgiendo un

nuevo imperativo de gestión para la resiliencia, es decir, identificar y prescribir flujos electrónicos para mantener características ecológicas sólidas, persistentes y socialmente valoradas en un marco de gestión flexible y adaptativo.

Chen y Olden (2017). Publicaron “Designing flows to resolve human and environmental water needs in a dam-regulated river”. Donde se menciona que navegar por las compensaciones entre satisfacer las necesidades de agua de la sociedad y apoyar el funcionamiento de los ecosistemas es parte integral de la política de gestión de los ríos. Los marcos emergentes brindan la oportunidad de considerar explícitamente múltiples usos de los ríos, pero equilibrar múltiples prioridades sigue siendo un desafío. Aquí cuantificamos las relaciones entre los regímenes hidrológicos y la abundancia de múltiples especies de peces nativos y no nativos durante 18 años en una gran cuenca fluvial de tierras secas en el suroeste de los Estados Unidos. Estos modelos se incorporaron a un marco de optimización multiobjetivo para diseñar liberaciones de operaciones de represas que equilibren las necesidades de agua de los seres humanos con los objetivos de conservación duales de beneficiar a los peces nativos y perjudicar a los no nativos. Las prescripciones de flujo previstas por el diseñador indican oportunidades significativas para favorecer a los peces nativos sobre los no nativos, mientras que rara vez, o nunca, invaden las necesidades de agua de los humanos. Los beneficios previstos superan a los generados por el mimetismo de flujo natural y se mantuvieron durante períodos de mayor sequía. Proporcionamos una ilustración cuantitativa de las predicciones teóricas de que los flujos de diseño pueden ofrecer múltiples beneficios ecológicos y sociales en ríos alterados por humanos.

1.2.2. Respecto a servicios ambientales

Moreno (2021) en su publicación “Percepción de los servicios ambientales de provisión en la reserva natural Pacoche” menciona que los servicios ambientales de provisión son los recursos que los ecosistemas terrestres o marinos proporcionan, y que son aprovechados por los seres humanos generando una interacción que ha asegurado su estancia y persistencia sobre la tierra. Por lo que la investigación se centra en el estudio del ecosistema terrestre de la reserva natural Pacoche, ubicada en la costa central del Ecuador en cual está conformada por dos ecosistemas de bosque: seco y ligeramente húmedo, donde se generan una gran variedad de alimentos o productos aprovechados por

los pobladores del área protegida y los de las zonas aledañas, poblaciones que fueron referencia para el desarrollo del objetivo de la investigación, el cual fue conocer la percepción de los habitantes sobre los servicios ambientales de provisión en la reserva natural Pacoche, a través de una herramienta metodológica como la encuesta dicotómica, la misma se estructuró con base en aspectos sociales, económicos y naturales propios del área de estudio. En los resultados se muestra un inventario preliminar de servicios ambientales de provisión tales como los productos de origen agrícola y animal (silvestre), materias primas vegetales y recursos hidrológicos. Concluyendo que, el flujo de estos servicios y principalmente el recurso hídrico muestra un severo impacto de disminución que a comparación con anteriores años, existe un deterioro de este a consecuencia del incremento demográfico, la explotación de recursos naturales y los efectos del cambio climático.

Quiñones et al. (2018) en su publicación “Delimitación de una unidad de reserva hidrológica en el karst del Estado de Yucatán considerando los servicios ambientales” demuestra que, identificar las reservas de agua contribuye al aseguramiento de este recurso hídrico y de los servicios ambientales. Existen estudios de diversas instituciones tanto del gobierno como de académicas, que proponen la existencia de reservas hidrogeológicas en el estado de Yucatán; sin embargo, es necesario para obtener un mejor entendimiento se requiere integrar estas propuestas. Por lo que el objetivo de este estudio de investigación fue proponer una unidad de reserva potencial hidrológica para Yucatán, considerando la integración de los servicios ambientales y los criterios metodológicos empleados por la CONAGUA. Este estudio se desarrolló en cuatro aspectos: el análisis de la metodología empleada por la CONAGUA y en los antecedentes de propuestas de reservas de agua en Yucatán; recopilación, análisis y adecuación de la información para la aplicación de la metodología; aplicación de la metodología asociándolo a los servicios ambientales; y la comparación de las ubicaciones de las reservas propuestas para el Estado de Yucatán con los resultados de este trabajo. Identificándose en el escenario lineal cinco municipios; en el escenario de árbol de decisiones dio como resultado 32 municipios, asimismo, se diseñó un árbol de decisión alternativo, sin embargo, su resultado fue similar al original; y el escenario de valoración ponderada mostró 31 municipios. Concluyéndose que el escenario lineal es la mejor estrategia para definir una reserva hidrológica; tanto el escenario de árbol de decisión como el escenario de valoración ponderada sugieren

conjuntos de municipios para ser reserva hidrológica. A su vez se proponen tres criterios para ser agregados a la metodología de CONAGUA.

Guachamín (2019) en su publicación “Identificación de indicadores de calidad basados en los servicios ecosistémicos ofrecidos por el refugio de vida silvestre manglares estuario Río Esmeraldas” en el que describe la identificación de los servicios ambientales en el Refugio de Vida Silvestre Manglares Río Esmeraldas (RVS-MERE), se basó en la ficha técnica diseñada por Betancur, el cual permite identificar el tipo de servicio ecosistémico, las condiciones en que se encuentra, la tendencia en el tiempo y el grado de conocimiento de la población. Los indicadores seleccionados fueron: agua, suelo y residuos sólidos. Donde se obtuvo diferencias significativas entre la zona de Puerto Limón y Pianguapi con un valor de 0.002 mg/l con respecto a las concentraciones de Cu. En cuanto al análisis físicoquímico del suelo el Mg obtuvo 1379 mg/kg siendo una concentración alta. Los residuos sólidos presentaron un promedio de 0,87 (kg/Hab/Día) de generación per cápita, alcanzando la mayor cantidad en vegetales y frutas con 1,3 kg y residuos de alimento 1,2 kg. La calidad del suelo resultante ha dado a conocer que el manglar enfrenta altas cantidades de P, amonio, K, S, B, Fe y Mn sobrepasando los límites máximos permisibles y afectando a los servicios ecosistémicos de abastecimiento, cultural, soporte y regulación. Esta situación genera problemas de insalubridad, pérdida del paisaje y de especies propias del manglar y enfermedades producto de la propagación de vectores.

Mizdraje (2019) publica “La dimensionalidad ambiental en las políticas públicas locales. Identificación y valoración de los servicios ambientales del periurbano en Villa María, Córdoba” menciona que el abordaje de los servicios ambientales es necesario para el establecimiento de políticas ambientales integrales, que contemplen los potenciales impactos que ejercen las actividades antrópicas sobre los entornos ecosistémicos. En el año 2017 la ordenanza municipal N° 7.209 de “Ruralidad Urbana” constituyó un significativo antecedente referido a la planificación territorial y la legislación de las actividades productivas de la ciudad de Villa María. En continuidad con dichos antecedentes, se desarrolló una herramienta de conservación, que posibilite aportar al ordenamiento ambiental del territorio y dotar de una mayor dinamicidad a la gestión municipal Villamariense, a través de la identificación y valoración de los servicios ambientales presentes en el periurbano.

1.2.3. Referido a calidad de agua

Wu et al. (2018) publicaron “Assessing river water quality using water quality index in Lake Taihu Basin, China” en el que se menciona que la cuenca del lago Taihu, una de las regiones más desarrolladas de China, ha recibido una atención considerable debido a su grave contaminación. Nuestro estudio proporciona una comprensión clara de la calidad del agua en los ríos de la cuenca del lago Taihu basado en el monitoreo a escala de cuenca y un método de índice de calidad del agua (WQI). Desde septiembre de 2014 hasta enero de 2016, se realizaron cuatro muestreos a lo largo de cuatro temporadas en 96 sitios a lo largo de los ríos principales. Quince parámetros, que incluyen temperatura del agua, pH, oxígeno disuelto (DO), conductividad, turbidez (tur), índice de permanganato (CODMn), nitrógeno total, fósforo total, amonio ($\text{NH}_4\text{-N}$), nitrito, nitrato ($\text{NO}_3\text{-N}$), Se midieron calcio, magnesio, cloruro y sulfato para calcular el WQI. El valor promedio de WQI durante nuestro período de estudio fue 59,33; en consecuencia, la calidad del agua se consideró en general “moderada”. Se detectaron diferencias significativas en los valores de WQI entre los 6 sistemas fluviales, con mejor calidad del agua en los sistemas Tiaoxi y Nanhe. La calidad del agua presentó distinta variación estacional, con los valores más altos de WQI en otoño, seguidos de primavera y verano, y los valores más bajos en invierno. El WQI mínimo (WQI_{min}), que se desarrolló en base a un análisis de regresión lineal escalonada, constaba de cinco parámetros: $\text{NH}_4\text{-N}$, CODMn, $\text{NO}_3\text{-N}$, DO y tur. El modelo mostró un rendimiento excelente en la representación de la calidad del agua en la cuenca del lago Taihu, especialmente cuando se consideraron completamente los pesos. Nuestros resultados son beneficiosos para la gestión de la calidad del agua y podrían utilizarse para una evaluación rápida y de bajo costo de la calidad del agua en la cuenca del lago Taihu. Además, sugerimos que las ponderaciones de los parámetros ambientales se deben considerar completamente en las evaluaciones de la calidad del agua cuando se usa el método WQI_{min}.

Custodio et al. (2018) publicaron “Quality of the aquatic environment and diversity of benthic macroinvertebrates of high Andean wetlands of the Junín region, Peru” El objetivo de este estudio fue la evaluación de la calidad del medio acuático y la diversidad de macroinvertebrados bentónicos de humedales altoandinos en la región de Junín en Perú, entre los meses de marzo y diciembre del 2017. Se tomaron muestras de agua y

macroinvertebrados bentónicos en 22 puntos de muestreo durante la época de lluvias y estiaje. Los indicadores fisicoquímicos de la calidad de agua determinados in situ fueron DO, DTS, EC, temperatura y pH. Los resultados obtenidos revelaron que los indicadores fisicoquímicos y bacteriológicos se encuentran dentro de las normas de calidad ambiental del agua, excepto la DQO y la DBO₅. En cuanto a los macroinvertebrados bentónicos, se identificaron cuatro filos, siendo el más representativo el filo Arthropoda en abundancia y riqueza de taxones. Así, según el periodo de muestreo, se detectaron diferencias altamente significativas ($p < 0,01$) para conductividad, DQO, temperatura, nitratos y coliformes termotolerantes, y diferencias significativas ($p < 0,05$) para DTS. Según el humedal, el 100 % de los indicadores presentaron diferencias significativas elevadas. Además, el 70 % de los indicadores presentaron interacción según la estación de muestreo y el humedal. La mayor abundancia y dominancia se registró en el humedal Tragadero y la mayor riqueza, diversidad y equitatividad de taxones en el humedal Pomacocha.

1.3. Fundamento teórico

1.3.1. Afianzamiento hídrico

El agua como elemento es indispensable para la vida, siendo el medio principal de transporte entre los ecosistemas y un importante catalizador para los seres vivos en sus funciones vitales. Su escasez en diversas regiones y el deterioro de la calidad de sus cuencas hidrográficas por la constante contaminación, el incremento demográfico a nivel mundial, ocasionan que sea difícil acceder a la buena calidad de este recurso natural, siendo un gran problema en esta parte del siglo. (ANA, 2016).

En nuestro país, existe una poca disponibilidad de los recursos hídricos para su aprovechamiento, esto debido a la distribución espacial irregular del agua disponible y a que suele presentarse en temporadas estacionales. El 47 % de la vertiente del Pacífico, lo que corresponde a 17 542 millones de metros cúbicos de agua, son aprovechados para usos agropecuarios y el 53% lo que corresponde a 19 821 millones de metros cúbicos de agua que terminan en el mar. Si se evitara que se pierda esta cantidad agua, se lograría abastecer a una poblacional aproximada de 500 millones de habitantes o posibilitar el riego de más de 2 millones de hectáreas. Estudios advierten que el Perú para el año 2025 podría estar sufriendo de estrés hídrico si la tasa de crecimiento poblacional es baja, en

caso contrario si la tasa de crecimiento poblacional es alta, el país sufriría de escasez hídrica (ANA, 2016).

Por esa razón establecer políticas de Estado que sean prioridad nacional, realizar estudios para el afianzamiento hídrico de las cuencas dentro del territorio nacional, comprendiendo las acciones y medidas orientadas a la conservación, preservación y al uso sostenible de cauces y fuentes naturales de las cuencas hidrológicas, generaría un incremento importante de la oferta y abastecimiento del recurso hídrico, lo que permitirá afrontar la actual y futura demanda hídrica que aqueja el país, como también a los desafíos globales que puedan afectar en nuestro territorio.

Una de las medidas más importantes para el afianzamiento hídrico son las obras de almacenamiento de agua que contribuyen a la preservación y conservación de este recurso natural, permitiendo que este sea aprovechado en temporadas de sequías. Las investigaciones han identificado la existencia de 75 espacios favorables topográficamente, esto permitiría almacenar alrededor de 7 000 millones de metros cúbicos de agua al año siendo el 35,3 % de agua perdida en el mar, esta cantidad podría abastecer de manera regulada cerca de 700 000 hectáreas de tierra para cultivo tanto de la costa como de la sierra o lograr abastecer a 175 millones de habitantes (ANA, 2016).

Sin embargo, los proyectos de afianzamiento hídrico normalmente abarcan a más de una región lo que es causal de conflictos políticos como sociales, un claro ejemplo es lo ocurrido entre Lambayeque y Piura para el desarrollo del Proyecto Olmos, otro caso es lo ocurrido entre Arequipa y Cusco por la represa de Angostura del Proyecto Majes-Siguas y el caso entre Arequipa y Moquegua por el Proyecto Pasto Grande, estos son algunos casos más resaltantes de conflictos. Estas situaciones implican reflexionar acerca de la generación las soluciones vinculadas al afianzamiento hídrico y no tengan fronteras político-administrativas y de repente conciliar en un corto plazo los límites territoriales entre las regiones y municipios del país con los límites naturales que establecen las cuencas (ANA, 2016).

1.3.2. Servicios ambientales (Servicios ecosistémicos)

Son procesos y/o funciones ecológicas que los recursos naturales o ecosistemas generan bienestar y beneficiosa la sociedad tanto económicos, sociales y ambientales. Un servicio

en términos económicos es considerado como un bien cuya naturaleza es intangible, con la capacidad de generar beneficios a los habitantes de una población cuando son consumidas o utilizadas de alguna manera (MINAM, 2015).

Por servicios ecosistémicos se entiende como:

- La conservación y protección de fuentes de agua y cuencas hidrográficas.
- La conservación y protección de las cuencas atmosféricas.
- La conservación, protección y recuperación del suelo.
- La conservación o protección de la biodiversidad, especies y ecosistemas.
- La mitigación de emisiones y la fijación, reducción, secuestro, almacenamiento y absorción de gases de efecto invernadero.
- La belleza escénica.
- La asimilación y diseminación de efluentes y emisiones.
- El mantenimiento de los procesos ecológicos esenciales de los ecosistemas naturales.

1.3.3. Compensación y/o retribución por servicios ambientales

Es aquella retribución monetaria o en especie que se da voluntariamente por los servicios ambientales adquiridos, existiendo la intervención de dos actores, el comprador y el proveedor del servicio, concretándose condicionalmente (MINAM, 2015).

Existen tres formas de realizar los mecanismos de compensación:

- **Pagos directos:** El financiamiento para el pago de las compensaciones puede proceder de distintas fuentes como tasas de pago, impuestos, fondos internacionales, entre otros.
- **Pago en especie:** Se da mediante infraestructuras, acceso a capacitaciones, etc.
- **Acceso a los recursos o a los mercados:** Es un derecho de uso de la tierra, ingreso a mercados nuevos mediante la certificación de productos, entre otros.

Además, los tipos de pago por servicio ambiental pueden diferenciarse entre los compradores, existiendo las siguientes modalidades:

- **Públicos:** Donde el Estado actúa en representación o en defensa de los compradores de los servicios ambientales, a través del cobro de impuestos y solicitud de donaciones para pagar a los proveedores.
- **Privados:** El Estado no interviene, en este caso los compradores de los servicios ambientales son quienes pagan a los proveedores, previamente realizada la firma de un contrato por parte de los dueños de la tierra, no obstante en muchos casos los casos los acuerdos se ejecutan con la intervención de mediadores como ONGs y gobiernos locales (MINAM, 2015).

1.3.4. Cuenca hidrográfica

Son espacios de territorio delimitados por líneas divisorias de agua, constituidas por sistemas hídricos que trasladan sus aguas hacia un río principal, un río muy grande, un lago o hacia el mar (figura 1). En este aspecto, tridimensionalmente se unen las interacciones entre el terreno y la cobertura, entre el entorno de la línea divisoria de las aguas y las profundidades del suelo (World Vision, 2004).

Figura 1

Cuenca hidrográfica



Fuente: World Visión (2004)

En términos hidrológicos, una cuenca hidrográfica se define como aquella área geográfica natural o territorio delimitado por una línea divisoria topográfica (*Divortium Aquarum*), con la capacidad de captar precipitaciones y drenar el agua de la escorrentía a un río principal (Vásquez et al., 2016).

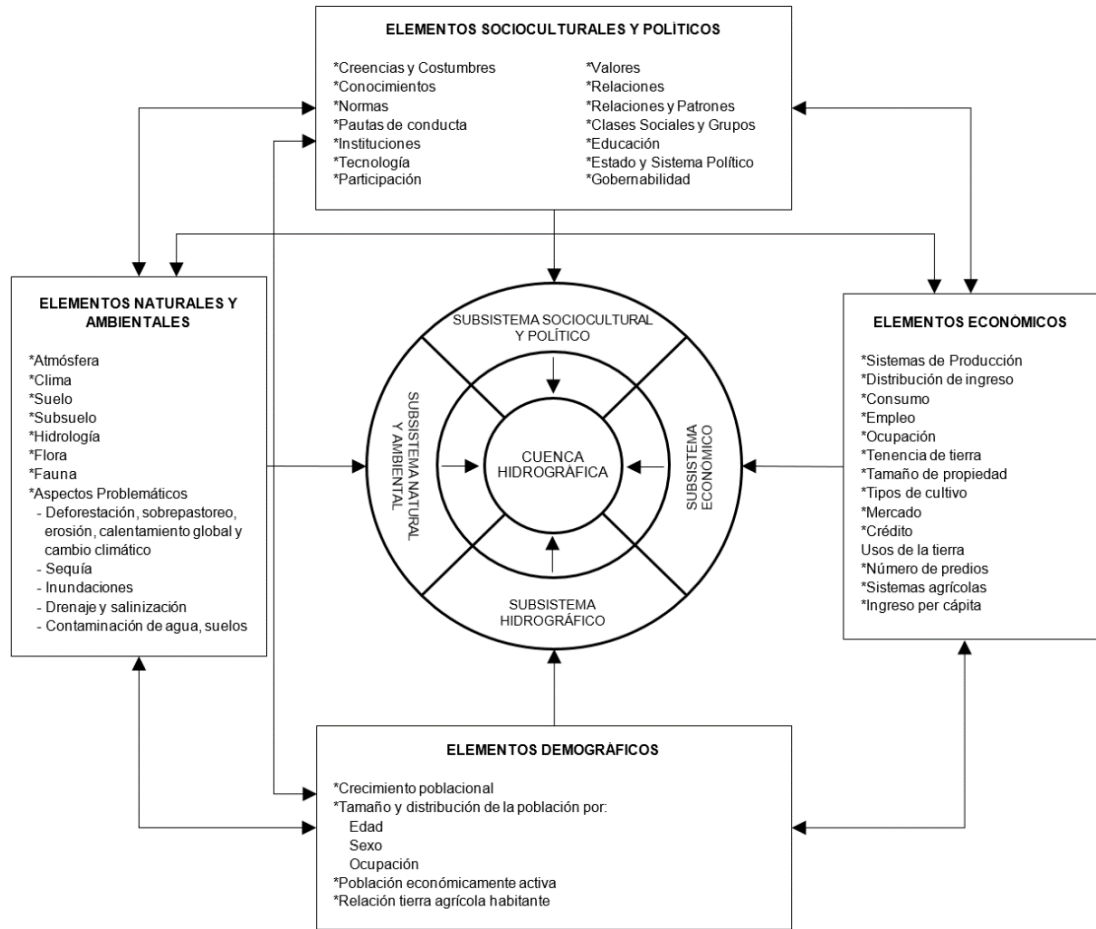
Por lo que, las cuencas hidrográficas son espacios territoriales delimitados por un parteaguas donde ocurre la concentración de los escurrimientos de los ríos y/o arroyos, entre otros, que convergen y desembocan en punto de salida de la cuenca, como por ejemplo un lago, generando una cuenca endorreica, o en el mar denominada cuenca exorreica. En estos espacios territoriales existe una interdependencia e interrelación espacio-temporal entre el medio biofísico tales como la biodiversidad, ecosistemas acuáticos y terrestres, suelo, agua, estructura geomorfológica y geológica; la modalidad de apropiación como mercados y/o la tecnología; e instituciones como organizaciones culturales, sociales, al igual que leyes y/o normas legales (SEMARNAT, 2013).

Estas cuencas hidrográficas permiten comprender sobre todo el ciclo hidrológico, así mismo identificar y cuantificar la acumulación de impactos por actividades antrópicas o por externalidades considerando a los contaminantes, sedimentos y nutrientes, a lo largo de la red hidrográfica pudiendo afectar positiva o negativamente la cantidad y calidad del agua, la facultad de adaptación de los ecosistemas y la calidad de vida de sus habitantes (SEMARNAT, 2013).

En la figura 2 se presenta un esquema de las interacciones de los diferentes elementos de una cuenca hidrográfica como un sistema hidrográfico.

Figura 2

Interacciones de elementos de una cuenca hidrográfica



Fuente: Vásquez et al. (2016)

1.3.5. Funciones de la cuenca hidrográfica

En una cuenca hidrográfica existen cuatro componentes principales: hidrológicos, ecológicos, ambientales y socioeconómicos (Araque et al., 2019), cuyas funciones hidrológicas se pueden identificar por acciones que se describen a continuación.

a. Función hidrológica

- Drena el agua de la precipitación.
- Recarga las fuentes de agua subterránea.
- Recarga las fuentes de agua superficial

b. Función ecológica

- Provee hábitat para la fauna.
- Provee hábitat para la flora.
- Tiene influencia sobre la calidad física y química del agua.

c. Función ambiental

- Constituyen sumideros de CO₂.
- Alberga bancos de germoplasma.
- Regula la recarga hídrica.
- Conserva la biodiversidad.
- Mantiene la diversidad de los suelos.

d. Función socioeconómica

- Suministra recursos naturales renovables.
- Suministra recursos naturales no renovables.
- Provee espacio para el desarrollo social.
- Provee espacio para el desarrollo cultural.

1.3.6. Cuencas de la región Tacna

En la región Tacna se identifican cuatro cuencas: Caplina, Sama, Locumba y Maure – Uchusuma; y entorno a ellas existen subcuencas e intercuencas. Las cabeceras de las cuencas de Caplina y Sama se ubican en la zona alto andina de la región, la cabecera de la cuenca de Locumba se encuentra entre Tacna y Moquegua y la cabecera de la cuenca Maure – Uchusuma está localizada en la zona altiplánica de la provincia de Ilave en la región de Puno (MINAM, 2013).

1.3.7. Cuenca del río Sama

La cuenca del río Sama presenta un área de drenaje de 4 615 65 km² que comprende el 90,26 % involucrando parte del territorio de algunos distritos entorno a ella, desde sus nacientes hasta su desembocadura en el Océano Pacífico (MINAM, 2013). Su recorrido máximo tiene una longitud de aproximadamente 163 km, tiene pendiente promedio de 2,7 % en los tramos comprendidos entre la zona costera y la parte media, y en la zona alta llega a una pendiente de 13,7 %.

Geográficamente se encuentra en las coordenadas 17°12' - 18°10' latitud Sur y 69°50' - 70°51' longitud Oeste. La cuenca Sama limita por el Norte a la cuenca del río Maure, por el Sur el Océano Pacífico, por el Este con las cuencas de los ríos Kallapuma, Uchusuma y Caplina; y por el Oeste con la cuenca del río Locumba (ANA, 2010).

Esta cuenca del río Sama corresponde al sistema hidrográfico del Pacífico y nace de las lagunas Calere (río Cano, 4600 msnm), Cotanvilque (río Jaruma Chico, 4680 msnm), Laycacocha (quebrada afluyente Río Jaruma, 4700 msnm) y Caparaja (quebrada Caparaja, 4900 msnm). Los más importantes nevados la constituyen: Achacollo (5690 msnm), Barroso (5695 msnm), Auquitaípe (5453 msnm). La ocurrencia de precipitaciones son el principal aporte en el curso de agua, y en una menor incidencia son los deshielos de los nevados que sucede zonas altas del flanco occidental de la Cordillera de los Andes (ANA, 2010).

1.3.7.1. Climatología

Climatológicamente la cuenca del río Sama se caracteriza por:

- **Temperatura media mensual:** Varía entre 15,3 °C en el mes de julio a 25,5 °C en el mes de febrero. La temperatura máxima varía de 25 °C en la costa a 15 °C en la zona alta y la temperatura mínima varía de 14 °C en la costa a -4 °C en la zona alta.
- **Lluvia mensual:** Varía de 0,4 mm en el mes de abril a 8,4 mm en el mes de septiembre de acuerdo a la estación Sama a 552 msnm y de 0,25 mm en el mes de mayo a 61,69 mm en el mes de enero de acuerdo a la estación Talabaya

a 3400 msnm. El total de lluvia anual varía en la zona costera de 10 mm a 340 mm en la zona alta.

- **Humedad relativa:** El promedio mensual varía de 71,4 % en el mes de octubre a 76,8 % en el mes de junio de acuerdo a la estación Sama a 552 msnm y de 27,7 % en el mes de julio a 57,4 % en el mes de febrero de acuerdo a la estación Tarata a 3068 msnm.
- **Velocidad del viento:** Los valores varían de 0,8 m/s en el mes de junio a 1,5 m/s en el mes de febrero de acuerdo a la estación Sama a 552 msnm y desde 21 m/s en el mes de marzo a 34 m/s en el mes de agosto de acuerdo a la estación Tarata a 3068 msnm.
- **Evaporación:** El promedio total mensual varía desde 53,1 mm a 106,2 mm en el mes de enero de acuerdo a la estación Sama a 552 msnm y desde 58,9 mm en el mes de febrero a 180,1 mm en el mes de octubre de acuerdo a la estación Tarata a 3068 msnm.

1.3.7.2. Formaciones ecológicas de la cuenca

La fisiografía está comprendida por los siguientes grupos de formaciones:

- **Llano de inundación:** Se ubica en llanura inundable del fondo del valle del río Sama. Son tierras marginales sujetas a inundaciones periódicas. Existe presencia de salinidad y mal drenaje. Localizado en Cuilona, Tomasiri y parte baja Miraflores.
- **Terrazas aluviales no inundables:** Dispuestas en terrazas, presentan acumulación de sales y no presenta mal drenaje. Localizado en Amopaya, Sama Grande y El golpe.
- **Planicie aluvial elevada:** Se ubica en llanura aluvial, la textura es moderadamente gruesa con presencia de material gravoso. Se localiza en Amopaya, zonas del Huayco y las Yaras.

1.3.7.3. Hidrología

Este río de la cuenca Sama nace en la zona alta de la laguna Cotanvilque denominado río Jaruma Grande; luego, se les denomina río Jaruma, Huallatire, Ticalaco, Pistala y Tala, hasta llegar a la confluencia del río Salado, donde se origina el río Sama desembocando con la misma denominación en el Océano Pacífico. Sus principales afluentes son, por el margen derecho, los ríos Ticaco (40 km²), Salado (425 km²) y quebrada Honda (705 km²) y por el margen izquierdo, los ríos Tarata y Aruma (ANA, 2010).

El río presenta un régimen torrentoso, y es el más irregular de la zona Sur debido a la gran variabilidad y marcada diferencia entre sus descargas extremas. La cuenca es alimentada por las precipitaciones pluviales durante el verano austral concentrándose en este periodo el 75 % de las descargas, y durante el resto del año son las descargas de los acuíferos de agua subterránea y los deshielos de glaciares (MINAM, 2013).

Tabla 2

Características hidrológicas de la cuenca sama

Nombre del río	Área de la cuenca (km ²)			Longitud máxima (km)	Pendiente promedio (%)
	Húmeda	Seca	Total		
1. Sama					
a. Sama (hasta su desembocadura)	635	4010	4645	163	2,8
b. Sama (hasta la Tranca)	625	1250	1875	105	3,8
2. Salado	185	240	425	35	6,6
3. Tala	440	315	755	51	4,8
a. Jaruma (hasta Jaruma)	130	--	130	13	0,8
b. Ticaco	20	20	40	14	13,7
4. Quebrada Honda	--	705	705	63	2,4

Fuente: MINAM (2013)

El sistema hidrológico de la cuenca está conformado por dos fuentes:

- **El recurso hídrico superficial:** Nace en el río Sama, con una disponibilidad promedio anual del 75 % de probabilidad de ocurrencia.

- **El recurso hídrico subterráneo:** En el curso inferior del valle presenta un relleno aluvial de aproximadamente 40 km de largo, de 250 a 2 300 m de ancho y con un espesor de 100 m, que representaría la parte del reservorio subterráneo del valle; y en los flancos intervalles, las planicies localizadas a ambos flancos del valle, con indicios de acuíferos existentes que precisan una investigación.

En los cauces de los ríos Sama, Salado y Callazas las descargas extremas anuales son muy diferenciadas. Como se aprecia en la tabla 3, el río Sama los mayores valores en cuanto a caudal, torrente y descarga media anual promedio. En tanto a los ríos Salado y Callazas sus descargas son menores (MINAM, 2013).

Tabla 3

Descarga del recurso hídrico en la cuenca Sama

Descargas	Río Sama		Río Salado		Río Callazas	
	m ³ /s	mes	m ³ /s	mes	m ³ /s	mes
Máxima controlada	115,411	febrero	3,5	marzo	11,10	
Descarga mínima	0,013	noviembre	0,047	setiembre	1,032	
Media anual promedio	2,318		0,552		1,828	
Masa total anual	MMC		MMC		MMC	
	71,89		0,295		0,295	
Promedios mensuales (75 %)	m ³ /s		m ³ /s		m ³ /s	
	0,669		0,25		0,25	
Volumen total anual (75 %)	MMC		MMC		MMC	
	20,97		9,25		9,25	
Meses concentrados descargas	Ene-mar		Ene-mar		--	
Meses periodo de escasez	Set-nov		Set-dic		--	
Rendimiento media anual cuenca media	l/s por m ² 3,7		l/s por m ² --		--	

Fuente: ANA (2010)

1.3.8. Caudal ecológico (Qe)

El reglamento de la Ley de Recursos Hídricos, Ley N° 29338, en su art. 153 define el caudal ecológico como “*flujo de agua que debe mantenerse en fuentes naturales para su conservación o protección de los ecosistemas involucrados, la estética del paisaje u otros aspectos de intereses científicos o culturales*”.

Cotidianamente, se habla de la necesidad de agua para usos urbanos, agrícolas o industriales; a veces también se refieren al uso en servicios o para la generación de energía eléctrica; pero, muy poco se habla del agua para el uso ambiental. No es raro escuchar que para perdurar en el tiempo y brindar servicios ecosistémicos, los ecosistemas requieren del agua; sin embargo, hay una poca existencia de normativas legales y jurídicas que protejan la naturaleza y garanticen que ésta pueda contar con las reservas necesarias de agua para cumplir su función adecuadamente (Diez, 2005).

El caudal ecológico desde los años 40 es un tema que ha tratado de brindar solución a diversas variaciones de flujos de agua como a la disminución de ecosistemas acuáticos, a consecuencia de actividades antrópicas, sobre todo por captación de agua, como en grandes proyectos hidroeléctricos, en actividades riego y uso de agua potable. Este caudal ecológico hace referencia al caudal mínimo necesario de una fuente o curso fluvial, para lograr conservar los actuales ecosistemas fluviales, ante los diferentes usos del agua implicados a las demandas físicas del flujo fluvial, mantener la estabilidad y cumplir las funciones naturales como la dilución de contaminantes, transporte de sólidos, recarga de acuíferos y conservación de las particularidades del medio paisajístico (Kendy et al., 2012).

Palau y Alcazar (2012) nos mencionan que el caudal ecológico, es un caudal que limita el uso de agua a lo largo de las temporadas de caudales bajos y mantiene la vida existente en el río. Un caudal ecológico mínimo no contribuye a una solución ecológica y se calculan de manera directa y arbitraria.

A través del tiempo el concepto de caudal ecológico ha ido variando, en un inicio se definió como la cantidad determinada de flujo que permite la conservación de valores bióticos en el río y en los últimos años se le considera como el valor de caudal necesario para la preservación en forma sostenible de ecosistemas que dependen del río sin alterar el desarrollo de las poblaciones aledañas. De las variaciones de este concepto surgió el término caudal ambiental, que a partir de su perspectiva holística complementa a los componentes del análisis de valores económicos y de la sociedad (Flachier, 2016).

King y Louw (1998) definen al caudal de mantenimiento como aquel “*régimen de caudal que conserva las funciones ecosistémicas del río, comprendiendo el agrupamiento continuo y balanceado de especies acuáticas y ribereñas*”

Flachier (2016) describe al caudal ecológico como la “*cantidad de un sistema hidrológico original de un río que tendría que continuar fluyendo río abajo y hacia las planicies de inundación para mantener las características específicas del ecosistema*”

Consuegra (2013) menciona cuatro factores importantes en su definición:

- **Cantidad:** Es el caudal mínimo necesario para el funcionamiento normal de un ecosistema.
- **Calidad:** Es el caudal que asegura una calidad específica del agua para el desarrollo normal de los ecosistemas acuáticos, así como para sus usos en actividades de índole socioeconómica.
- **Variabilidad temporal y espacial:** Es el caudal que cambia según las condiciones del cauce.
- **Instrumento de planeación:** Es empleado para el ordenamiento del recurso hídrico.

La determinación de los caudales ecológicos consiste en tomar decisiones a partir del conocimiento de datos, la cantidad de remanente que puede ser aprovechado del caudal para uso de la población y las variaciones ocurridas en los patrones del flujo natural del río que haya sido empleada para consumo poblacional. Por lo que, brindar especificaciones precisas acerca del caudal ambiental debería ser de suma importancia para una planeación sustentable del recurso hídrico (Alvaro, 2017).

Con el tiempo se ha logrado desarrollar múltiples métodos de cálculo que respondan a distintos objetivos como enfoques, tales como hidrológicos, hidráulicos, hidrobiológicos y holísticos. Por lo general se considera variaciones hidrológicas, temporales y estacionales, como también las preferencias del hábitat de especies (Flachier, 2016).

1.3.9. Términos relacionados a caudal ecológico

Los diferentes conceptos relacionados a caudal ecológico difieren en ciertos casos en su enfoque; unos son netamente hidrológicos o ecológicos y otras ocasiones ambas

disciplinas se combinan generando nuevas ramas de la ciencia, tales como ecohidrología y ecohidráulica. E incluso, se manejan definiciones que emplean un único parámetro hidrológico descriptor o se centran en un régimen de caudales descritos por algunas variables.

Asimismo, existen otros términos similares a caudal ecológico, como los caudales mínimos, óptimos, básicos, de sequía, aconsejables, fluvio-ecológicos, entre otros, definiéndose que el caudal tiene la capacidad de conservar ciertas funciones básicas del ecosistema fluvial (Flachier, 2016). Otros conceptos usados, presentan sus propias variaciones, o son complementarios, como los que se indican a continuación:

1.3.9.1. Caudal mínimo

Este caudal restringe su uso durante temporadas de caudales bajos y conserva la vida en el río, tampoco contribuyen con soluciones ecológicas. Y su cálculo se realiza directa y arbitrariamente, producto de un ajuste y no de una formulación científica (King et al., 2008; Palau y Alcazar, 2012).

1.3.9.2. Caudal máximo

Este el mayor caudal que debería recorrer a través del cauce de un río regulado y no debería ser superado al generarse los caudales de mantenimiento, a excepción de las temporadas naturales de grandes avenidas (Fernández y Cebrián , 2010.; Consuegra, 2013).

1.3.9.3. Caudal ambiental

Es aquel régimen hídrico que un río, humedal o zona costera, establece para sostener los ecosistemas y los beneficios que ofrece en lugares que existan usos del agua y cuyos caudales estén regulados. El caudal ambiental se usa para valorar la cantidad de agua que pueda quitarse al flujo del río sin alterar ni causar degradación en los ecosistemas ribereños para los casos de ríos alterados. También se usa para estimar la cantidad necesaria de agua para restablecer el flujo de río y lograr restaurar los ecosistemas hasta una condición requerida (Palau y Alcazar, 2012).

Existen muchos conceptos referidos a caudal ambiental, sin embargo, el enfoque principal se basa en el proceso de la evaluación ambiental, social y económica, por lo que se define como el régimen hídrico establecido en un flujo del río, humedal o zona costera que sostenga los ecosistemas como sus beneficios que brindan (Peña, 2017). La declaración de Brisbane del año 2007 logró establecer a nivel mundial la definición más aceptada, donde indica que, *“los caudales ambientales son los flujos de agua, el momento de su aplicación y la calidad de las aguas precisos para mantener los ecosistemas de agua dulce y de los estuarios, así como los medios de subsistencia y bienestar de las personas que dependen del ecosistema”* (SEA, 2016).

Las definiciones anteriormente mencionadas, en especial las más actuales, se enfatizan en aspectos de valores socioeconómicos sobre la biota acuática y las funciones ecosistémicas de esta, incluyendo la intervención social (Acreman y Dunbar, 2004). Estos conceptos están en un nivel de análisis holístico que considera al ecosistema en conjunto total de sus variables ambientales tanto físicos, bióticos y socioeconómicos. De esta forma, el concepto de caudal ecológico engloba diversos enfoques profesionales y científicos. Por tanto se puede mencionar que el caudal ecológico conforma parte del caudal ambiental (Flachier, 2016).

El caudal ambiental proporciona importantes contribuciones para la integridad del río, al progreso económico y lograr aliviar la pobreza, así mismo asegurar la continua disponibilidad de los diversos beneficios que un río y un acuífero saludable pueden proporcionar a la sociedad (Dyson et al., 2003).

Establecer un caudal ecológico es disminuir la disponibilidad del flujo de agua destinada para uso económico y social, por el contrario establecer un caudal ambiental es buscar un equilibrio entre la demanda del flujo de agua actual y a futuro, también la conservación y protección de la biota acuática. Es por ello que, para lograr determinar el caudal ambiental se debería necesariamente contar con la participación social y llegar a acuerdos con las comunidades.

De acuerdo a algunas investigaciones, los caudales tanto ecológicos y ambientales son una herramienta que ayudan a la gestión de cuencas hidrográficas que fácilmente pueden ser aplicados en la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH). La aplicación de esta herramienta se relaciona al uso de los recursos hídricos para el beneficio de la población; por lo que su principal objetivo es determinar la cantidad de flujo de agua que podría ser extraída de un río sin exceder los límites que alteren el ecosistema acuático. Pero, ciertos autores precisan de realizar estudios previos sobre caudales ecológicos y/o ambientales en diferentes ríos, sin que estén sometido a alteraciones necesariamente (Dyson et al., 2003; Kendy et al., 2012)

1.3.10. Caudales de crecida

Es el valor del nivel de caudal asociado a periodos teóricos diferentes de retorno, definido por estudios estadísticos. Para ello se calcula un intervalo de confianza que va a depender de la cantidad de años registrados, su homogeneidad y del método a usar (Consuegra, 2013).

1.3.11. Caudal de mantenimiento

Es el caudal necesario para conservar las funciones ecosistémicas del flujo de río, incluyendo la integración balanceada y continua de especies acuáticas y riparias. El cálculo de este caudal se enfoca con el objetivo de conservar los valores bióticos del ecosistema fluvial (ACA, 2006).

1.3.12. Caudal de acondicionamiento

Es aquel caudal que podría establecerse como un complemento de caudales mínimos o de mantenimiento, con una finalidad concreta, distinta a la conservación de valores bióticos del ecosistema fluvial y referida a aspectos abióticos tales como la dilución, paisaje, usos recreativos, y demás (Consuegra, 2013).

1.3.13. Caudal de sequía

Es aquel caudal sumamente reducido, propio de temporadas secas, pero suficientemente aptas para conservar a las especies en un ecosistema, sin que exista posibilidad de reproducción (Fernández y Cebrián, 2010; Palau y Alcazar, 2012).

1.3.14. Caudal de limpieza

Conserva las características específicas del sustrato, evitando que la vegetación logre invadir el cauce y que las fracciones más finas de las partículas orgánicas e inorgánicas sean removidas (Fernández y Cebrián, 2010).

1.3.15. Régimen del caudal ecológico

Es el principal gestor estructurador de un hábitat físico, que permite ejecutar bajo condiciones establecidas dentro de un ecosistema ribereño. En este régimen se detallan caudales específicos en periodicidad, magnitud, frecuencia y duración, tanto en caudales basales como de las avenidas y crecientes en la escala de variabilidad intra e interanual, diseñado para conservar los componentes funcionales de los ecosistemas (Chavarría et al., 2020).

Su definición se refiere al grupo de *“modificaciones de las características y del estado de la masa de agua que se repiten en el tiempo y en el espacio de forma regular, mostrando patrones estacionales o de otro tipo”* (King et al., 2008). En otras palabras, el régimen hidrológico se refiere a la oscilación entre el los caudales máximos y mínimos que ocurre en un determinado intervalo de tiempo.

El régimen hidrológico depende de factores climáticos, geológicos, hidromorfológicos, red de drenajes, topográficos, de vegetación, entre otros. Si ocurre algún cambio de cualquier parámetro de los mencionados que puede alterar en la infiltración hídrica, las tasas de escorrentía y los niveles freáticos; los que a su vez cambian la variación temporal de caudales (Izquierdo y Madroñero, 2014; Fernández y Cebrián, 2010). El régimen hidrológico desde el punto de vista ecológico es un condicionante sobre la biodiversidad (Flachier, 2016) .

Los caudales altos y bajos son fundamentales en la formación hábitats, zonas de refugio y guarderías, como también de áreas de descanso para diversas especies de la biota acuática, que son importantes para la conservación del buen estado de las riberas, permitiendo desarrollar la vegetación de las orillas adaptadas a los cambios extremos, por poseer rápidos ciclos de vida y facilidad de colonización. En las crecidas de caudal las semillas son movilizadas para lograr desarrollarse en los caudales bajos, como

consecuencia los bosques cumplen la función de protección en temporadas de inundación (Morales, 2017; Fernández y Cebrián, 2010).

El aumento de caudales extremos en ocasiones son indicadores en diversas especies acuáticas de temporadas de reproducción, desove, migración. Por lo que cualquier tipo de variación en el régimen hidrológico, provocará impactos en los ciclos de vida de las especies (Flachier, 2016). Otra consecuencia de las crecidas de caudal es la remoción de sedimentos, de esta manera evita la aglomeración y taponamiento en ciertos sectores de áreas intersticiales, y el transporte de nutrientes de un tramo del río a otro. Estas variaciones de caudal, renuevan las condiciones del río constantemente (Morales, 2017).

Algunos autores indican que los procesos ecológicos elementales de las cuencas hídricas son beneficiados por la variación espacio-temporal de caudal, las que son: (i) disponibilidad, conectividad, y persistencia de hábitats fluviales; (ii) conservación de los niveles de interrelación entre especies como competencias, primacías; y (iii) las tasas de ingreso, flujo y transformación de la materia orgánica y los nutrientes (Diez y Burbano, 2007).

Por lo expuesto, el régimen hidrológico es uno de los factores más importantes a la momento de evaluar el estado de conservación e integridad de los ríos (Izquierdo y Madroñero, 2014). Por ese motivo, diferentes autores consideran incluir para el estudio de caudal ecológico, aspectos que sean determinantes al régimen hidrológico como se aprecia en anteriores conceptos.

De este modo se origina el término régimen de caudal ecológico bajo el concepto que es, *“aquel caudal que debe dejarse fluir en una fuente hídrica después de un aprovechamiento hidráulico, al presentar la variación del régimen natural, con el intención de mantener las dinámicas y funciones ecológicas en las diferentes comunidades de organismos bioacuáticos presentes en un ecosistema fluvial”* (Izquierdo y Madroñero, 2014).

Según Izquierdo y Madroñero (2014) las principales variables a analizar asociadas al régimen de caudales son: frecuencia, magnitud, predictibilidad, duración y variabilidad; variables que se definen a continuación:

- **Frecuencia:** Es el intervalo de tiempo donde el caudal circulante supera un valor específico.
- **Magnitud:** Es la cantidad de caudal que discurre por un tramo del río, en un momento específico.
- **Predictibilidad:** Es la regularidad con que se presenta un caudal determinado que puede ser predecible.
- **Duración:** Es el período de tiempo asociado a una condición determinada de caudal.
- **Variabilidad:** Es la tasa de variación de caudal de una magnitud a otra.

1.3.16. Metodología de determinación de caudal ecológico

Existen muchos métodos para determinar el caudal ambiental, los que a su vez se clasifican en dos grandes grupos, metodologías normativas y metodologías interactivas. Este último está orientado esencialmente a la generación de diversos regímenes de caudal para satisfacer los intereses de múltiples usuarios y se aplica a cuencas que tengan fuertes intereses de régimen de caudal (Chavarría et al., 2020). En tanto, a los métodos normativos están enfocados a métodos que buscan determinar regímenes específicos de caudales con el propósito de ejecutar el objetivo establecido, como ejemplo tenemos a la conservación de alguna especie de pez. Dentro de los métodos normativos más empleados se encuentran, los métodos hidrológicos y los que siguen el enfoque hidráulico.

Según Consuegra (2013) para determinar el valor del caudal ambiental existen cuatro métodos: hidrológicos, hidráulicos, eco – hidráulicos y holísticos:

1.3.16.1. Métodos hidrológicos

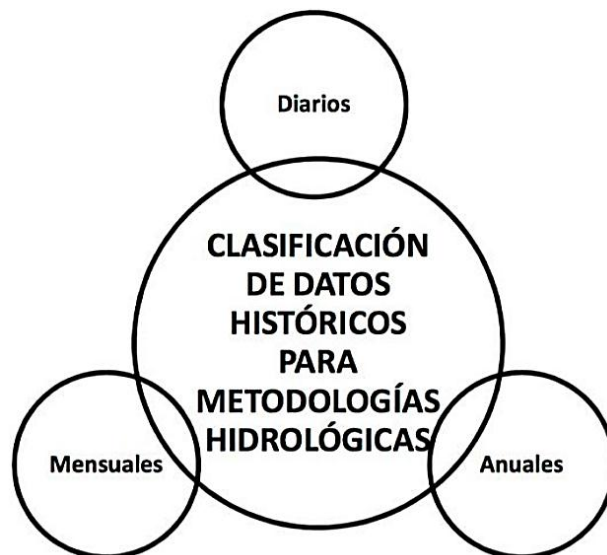
Permite determinar el caudal ambiental partiendo del procesamiento de una serie de registros hidrológicos y obtener resultados porcentuales de caudal, se determinan índices que parten de un caudal que haya sido determinado o establecido como normativa o se pueda calcular a partir de indicaciones establecidas, es recomendable que las series sean menores a 20 años (Chavarría et al., 2020).

Durante los años 70s y 80s, principalmente en los EE.UU. se fueron desarrollando las primeras propuestas de metodologías para estimar caudales ecológicos con enfoque hidrológico (Pantoja, 2017). Surgieron con el principal objetivo de asegurar que las especies a conservar sean económicamente significativas y en ríos del tipo permanente con alteración hidrológica estacional escasa.

Entonces, se entiende que los ecosistemas se desenvuelven acorde a la adaptación de las alteraciones naturales en la corriente de un régimen hídrico como a las tendencias históricas, por lo que, el estudio hidrológico de una serie de caudales permite la recomendación de un régimen de caudal ambiental (Pantoja, 2017). Es decir, los métodos que constituyen este bloque están basados en registros históricos de eventos de masas de agua, con una compilación de datos, ya sea diariamente, mensual o anual, que van a ser fuentes de información suficiente para efectuar la aplicación que será el resultado de la porción de caudal recomendable necesario para preservar los ecosistemas.

Figura 3

Metodologías del enfoque hídrico



Fuente: Guevara y Rodríguez (2013)

Los métodos de enfoque hidrológico son procedimientos rápidos y económicos que facilitan determinar el valor del caudal ecológico. Lograr este resultado, es necesario tener un registro histórico de caudales de una determinada cuenca, las

que pueden estar representadas a través de líneas de tendencia, curvas de duración, porcentajes estadísticos y otros. De tal manera, antes de aplicarse, se necesita realizar un análisis para verificar que la condición o situación de la zona de estudio sea semejante con las corrientes de agua donde se aplicó la metodología (Chávez, 2020).

A su vez, la Autoridad Nacional del Agua refuerza este concepto, indicando que los métodos hidrológicos manejan parámetros regionales obtenidos a través del muestreo de una determinada área de estudio (ANA, 2015).

A continuación se detallan los siguientes métodos

A. Método de Tennan - 1976

También llamado método Montana. Para la elaborar este método se tuvo que evaluar once flujos de río en EE.UU. pertenecientes a los estados de Nebraska, Montana y Wyoming. De esta evaluación de ríos se obtuvo 58 secciones transversales, considerándose parámetros de profundidad, ancho, temperatura, sustratos, cobertura vegetal, lecho, entre otros. De acuerdo a los valores obtenidos, se determinó el porcentaje de caudal anual de acuerdo a la calidad de hábitat requerida. El método Tennan se distribuye en dos periodos un año, los que representan temporadas de avenida y las de estiaje, determina el valor porcentual que representa el caudal ecológico (Pantoja, 2017).

Para que este método sea aplicado, necesita una previa evaluación de las características hidrológicas para constatar su compatibilidad con las áreas de estudio empleadas por el método Tennan. Luego a ello, se emplea una tabla de valores de recomendación del régimen de caudal propuesta por el autor, como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4

Régimen de caudal para peces, vida silvestre, recreación y recursos ambientales

Descripción de flujo	Caudal recomendado (%)	
	Octubre - marzo	Abril - setiembre
Máximo	200	200
Rango optimo sobresaliente	60 - 100	60 - 100
Excelente	40	60
Bueno	30	50
Malo o degradante	20	40
Pobre o mínimo	10	30
Degradación severa	10 - 0	10 - 0

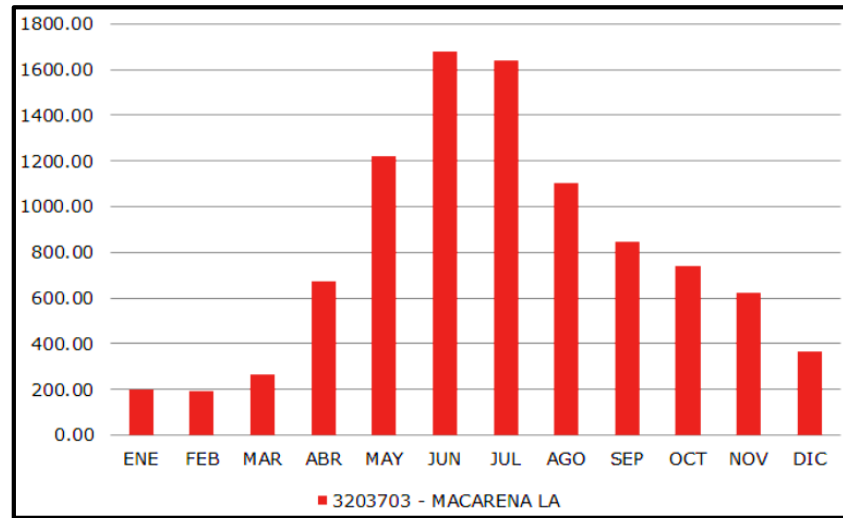
Fuente: Tennant (1976)

Este método considera la determinación y estacionalidad de los caudales ecológicos (Q_e), partiendo de la definición de temporadas secas y húmedas, para cada caso el Q_e es la fracción del caudal medio multianual que dependerá del estado ecológico deseado. (Consuegra, 2013).

Para lograr establecer temporadas húmedas o secas se elaboran gráficas, como se aprecia en la figura 4, donde se demuestra las variaciones intranuales en los caudales, a partir ello se determina los periodos de caudal máximo o húmedo y caudales de estiaje o seco.

Figura 4

Caudales medios mensuales multianuales (m^3/s)



B. Método New England Aquatic Base Flow

Se desarrolló a través del Servicio de Vida Silvestre de EE.UU., para lograr determinar una serie de 25 años a más requerirá de información de caudales medios mensuales multianuales. Mediante este método el caudal ecológico va a equivaler a la mediana de los flujos medios mensuales en los meses más secos; entendiendo que las especies son tolerantes a esas características (Diez y Burbano, 2007).

El método New England Aquatic Base Flow distribuye el año en tres temporadas, siendo el caudal ecológico, la mediana resultante de los registros históricos de los caudales medios de los meses del año como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5

Recomendaciones de caudal medio para tres periodos del año

Periodo	Caudal medio recomendado
Octubre – Febrero	Febrero
Marzo – Mayo	Marzo / Abril
Junio – Setiembre	Agosto

Fuente: ANA (2015)

C. Método del NGPRP (Northern Great Plains Resource Program) – 1974

Método desarrollado en EE.UU., con el fin de preservar los peces salmónidos económicamente importantes. Para este caso, el cálculo del caudal ecológico para condiciones hidrológicas normales es a nivel mensual, determinado de los medios diarios de las Curvas de Duración de Caudales (CDC), que está representado en una gráfica donde se indica la frecuencia de su ocurrencia en otras palabras, el porcentaje del tiempo en que los caudales han sido excedidos o igualados.

La CDC del caudal según el método del NGPRP, está presente el 90 % del tiempo (Q_{90}) en los meses de temporadas secas, y en meses de temporadas húmedas está presente el 50 % del tiempo (Q_{50}). Para calcular el caudal ecológico se requiere información histórica de los flujos medios diarios mayores a 20 años (Consuegra, 2013). Estos datos históricos de caudales son procesados y expresados en una curva de duración, a partir de ello se logra determinar los caudales de persistencia al 90 % y 50 % que son establecidos para los meses de temporadas secas y húmedas respectivamente (Flachier, 2016).

Este cálculo va a depender de la elaboración de la CDC, acorde al método de índices con la CDC, construida con datos obtenidos mes a mes y de esta se puede establecer el Q_{90} , Q_{80} , Q_{50} , Q_{40} y/o Q_{17} (Consuegra, 2013).

D. Rafael Heras

En primer lugar, para determinar el caudal ecológico se debe calcular el caudal medio mensual más bajo durante tres meses consecutivos. Con este método se propone determinar el flujo mínimo al 20 % del valor encontrado con anterioridad (Brown et al., 2016).

E. Método 7Q10

Este método también desarrollado en EE.UU., requiere de un registro histórico del caudal mínimo diario multianual. Con este método se logra calcular los valores del caudal medio de cualquier evento ocurrido durante siete días consecutivos de sequía, para un período de retorno de diez años (Consuegra, 2013; Diez y Burbano, 2007; King et al., 2008).

Un período de retorno se refiere a la probabilidad de ocurrencia en un lapso de tiempo determinado de un caudal extremo de valor X. Este método deriva la versión anterior al método 7Q10, el método 7Q2, el cual consideraba un período de retorno de dos años (Dyson et al., 2003; ENDESA, 2011). Con este método se determina las épocas de sequía de un registro histórico de caudales y emplea el menor valor medio durante siete días consecutivos como el caudal mínimo para un periodo de retorno de diez años (Diez y Burbano, 2007).

F. Método del caudal medio mensual

Este método fue creado por el Servicio de Vida Silvestre de EE.UU., el cual propone que el caudal ecológico puede determinarse a través del promedio de flujo mensual más seco. Para esto se necesita de un registro histórico de caudales medios de un mínimo de 25 años (Flachier, 2016).

G. Método de Hoppe

Desarrollado en EE.UU., este método considera las características fluviales más adecuadas para la fauna acuática, siendo relacionados con los percentiles de la CDC. De esta forma, lograr determinar los flujos mínimos de ocurrencia durante los ciclos de vida de las especies (Diez y Burbano, 2007). Sin embargo, el método se desarrolló netamente para ríos con poblaciones de trucha, por esta razón no se puede aplicar en todos los ríos ni a todos los peces. Para aplicar este método se necesita de registros históricos del caudal tanto diario, mensual o anual (Consuegra, 2013).

Este método Hoppe emplea la curva de duración de un río para luego ser relacionada con las temporadas de vida que una especie y sus necesidades sean óptimas. Para ello, el método distribuye las temporadas de acuerdo a las funciones y necesidades de la especie de la siguiente forma: en periodos de avenida y limpieza de sustrato, donde se necesita un caudal con una persistencia del 17 % (Q_{17}); para la preservación del hábitat de una forma óptima para el desove necesita un caudal con una persistencia del 40 % (Q_{40}); para mantener las condiciones de alimento y abrigo se requiere un caudal con una persistencia del 80 % (Q_{80}) (Pantoja, 2017).

Para que este método sea efectivo, previamente a su aplicación se debe realizar una evaluación ya que las especies amenazadas podrían tener características que no se puedan notar a simple vista y difieran en el desarrollo metodológico.

H. Método del 90 % de excedencia

Para aplicar este método es necesario tener un registro histórico de caudales para generar la curva de duración de caudales del río a analizar. Con ello se determina la que presente una persistencia del 90 % y pueda establecerse como el mínimo que debe mantenerse (ANA, 2015).

1.3.16.2. Métodos hidráulicos

Toma en cuenta la relación entre el caudal y las características físicas del cauce donde se desarrollan las interacciones bióticas y abióticas, y forman el ecosistema de la zona (Chavarría et al., 2020).

El conjunto de métodos dentro del enfoque hidráulico utiliza la relación de variables como la velocidad, tirante, perímetro mojado, sección del río y el caudal circulante. Esta serie de métodos representa un desarrollo evolutivo en el cálculo de caudales ecológicos en relación a los métodos del enfoque hidrológico, porque analiza la variabilidad de los caudales y su efecto sobre las características y condiciones del cauce del río, las condiciones de supervivencia de las especies que

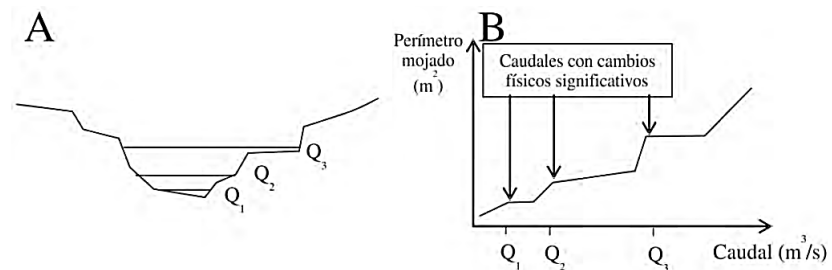
viven en los cuerpos de agua. Si bien este conjunto de métodos incluye parámetros nuevos que afectan sobre el cálculo del caudal ecológico, no se incluyen variables que representen a las especies acuáticas (Kendy et al., 2012).

A. Método del perímetro mojado

Este método analiza la relación entre una sección de la superficie que se encuentra inundada por el caudal que fluye en el tramo de un río. Asimismo, este método también toma en cuenta el sostenimiento del hábitat que directamente se relaciona con la magnitud de la variable hidráulica. Por otro parte, para que exista una aplicación correcta del método, el tramo de estudio debe encontrarse en una corrida fluida de agua. Finalmente, se construyen las gráficas del perímetro mojado y el caudal, esta gráfica demostrará que la pendiente será cero a cierto volumen de agua, donde el caudal recomendado es aquel que se encuentre más cerca del punto de inflexión (Flachier, 2016).

Figura 5

Perímetro mojado vs caudal y sección transversal



En hidráulica el Perímetro mojado (P) es la distancia entre la línea de contacto del agua y la superficie mojada de un canal. Un método empleado en EE.UU., por el que requiere información física como caudal o batimetría, de los transectos en la sección de un río para su análisis. Con este método logra analizar la relación entre X e Y de un caudal y su perímetro mojado, de esta manera se ubica el punto de inflexión, que sería el valor del caudal X donde empieza una variación en la curvatura de la gráfica (Consuegra, 2013; Diez y Burbano, 2007; ENDESA, 2011; King et al., 2008).

Por lo que, el método supone que el punto de inflexión de la relación caudal/perímetro mojado, corresponde al hábitat que la biota acuática prefiere dentro del tramo del río estudiado. Debido a que el método analiza secciones de rápidos y si observa que los sectores del río son habitables, se presume que también lo serían otras secciones del tramo del río. Preferentemente se aplica en ríos con cauces anchos, de poca profundidad y geoméricamente regulares en cuanto al perímetro mojado (Dyson et al., 2003; Izquierdo y Madroñero, 2014).

Para este procedimiento se necesita vincular un conjunto de registros de caudales que se obtienen por mediciones de métodos directos o indirectos. Una vez se tenga la información recopilada, se determina el perímetro respectivo para cada caudal y se construye la curva P vs Q hasta encontrar el punto de inflexión (Consuegra, 2013).

B. R2Cross

El análisis de este método está basado en suponer que el flujo en estudio designado para la conservación del hábitat en una corrida de flujo o rápido es apto para el mantenimiento de la biota acuática, tanto de peces e invertebrados del área próxima al punto analizado. A su vez, el método integra tres parámetros hidráulicos en los cálculos de caudales mínimos para asegurar con lo necesario para salvaguardar el hábitat en los rápidos. Estos parámetros son el porcentaje del perímetro mojado, la profundidad promedio y velocidad promedio del flujo (Gallo, 2016).

El criterio recomendado por parte de los creadores del método es utilizarlo para la evaluación del cumplimiento de protección del hábitat. De igual forma, se establecen requisitos que cambian de acuerdo a la temporada del año en la zona de aplicada. Por un lado, durante la temporada de verano se aconseja que cumple con tres criterios expresados en la tabla 6, y por otro lado, es recomendable superar por lo menos con dos criterios para el caudal más bajo en la temporada de invierno. Sin embargo, estas recomendaciones están adaptadas al área

donde se desarrollaron los criterios, por lo que es necesario revisar si el área en la que se aplica el método tiene un comportamiento estacional similar al lugar de origen del método u otro diferente de tal manera pueda adaptarse según sea necesario (Gallo, 2016).

Tabla 6

Criterios recomendados para las variables de R2CROSS según el ancho del río

Ancho promedio (m)	Profundidad promedio (m)	Perímetro mojado del cauce (%)	Velocidad promedio (m/s)
0,3 – 6	0,003 – 0,06	50	0,30
6 – 12	0,006 – 0,12	50	0,30
12 – 18	0,12 – 0,18	50 – 60	0,30
18 – 30	0,18 – 0,30	> 70	0,30

Fuente: Gallo (2016)

C. Método de múltiples transectos

Mediante este método se analizan diferentes transectos de un río y lograr la estimación del valor de su caudal ecológico. Aplicarlo, es necesario tener registros de la profundidad, velocidad, cobertura y sustrato de las diferentes secciones transversales a analizar, al igual que los diferentes valores de flujo representados en diferentes temporadas. Por último, mediante la modelación hidráulica se visualiza el aumento y disminución en los componentes analizados (Flachier, 2016).

Entonces, el método consiste de una simulación hidráulica, que precisa de la selección sistemática de múltiples secciones transversales y así reconocer del ecosistema fluvial sus características físicas. De esa forma, se mide la cobertura vegetal, la forma del fondo, el nivel del agua y la velocidad del flujo de agua en cada sección. La simulación mencionada permitirá determinar las variaciones de estas características de acuerdo con los cambios en el caudal. El modelo simulado presume que el caudal más favorable o ecológico es aquel que asegura el libre

movimiento de especies, la calidad del agua, la remoción de sólidos y posibilita la recreación (Consuegra, 2013; King et al., 2008).

Según Flachier (2016) se debe establecer como criterio que el caudal analizado logre ocupar el 10 % del cauce y genere una velocidad que logre evitar estancamientos del flujo de agua, asegurando la irrigación en la vegetación de zonas ribereñas.

D. Método de Washington

El método de Washington emplea propiedades hidráulicas del río, como la velocidad de la corriente y la profundidad del cauce, para lo cual se deben realizar mediciones de profundidad (batimetría) en diferentes tramos distintivos de la sección transversal del cuerpo de agua en estudio. A partir de los datos obtenidos de parámetros hidráulicos, se diseñan mapas que representen las zonas consideradas aptas para las poblaciones de peces salmónidos, por ser la especie de mayor estudio, por ende, existe una amplia información de sus características y preferencias (Flachier, 2016).

Los datos obtenidos permite caracterizar los tramos en cada caudal, tales como: (i) velocidades, (ii) profundidades y (iii) velocidades y profundidades en conjunto. Éste último permite identificar zonas preferentes de los peces salmónidos con relación a los dos parámetros. Cabe mencionar que existen múltiples estudios con respecto a este grupo taxonómico íctico por esta razón hay un conocimiento de las áreas de preferencia, algo que no sucede con otras especies de peces. Estas áreas están asociadas con el flujo del caudal en ejes cartesianos logarítmicos, y son mapeados. El máximo valor corresponderá al caudal óptimo de la especie, por lo que el mínimo caudal no debe ser inferior a 75 %. Este método sugiere calcular el perímetro mojado, si se desconocen las preferencias de la especie (Consuegra, 2013; Diez y Burbano, 2007; Pantoja, 2017).

E. Método de simulación hidráulica

En diferentes tramos de la sección de caudal se establece una relación algebraica entre el caudal circulante y el perímetro mojado. Con esta relación se establecen los caudales considerando las características de desove, cría y migración de algunas especies de peces (Consuegra, 2013; King et al., 2008). Para este procesamiento se necesita realizar el desarrollo del método del perímetro mojado, con las variaciones de que hay especies de peces faunísticos que deben seleccionarse como objetivo (Consuegra, 2013; King et al., 2008).

Como en este método se efectúa una modelación hidráulica, que requiere recolectar previamente los valores característicos tanto físicos e hidráulicos, concernientes a la cobertura vegetal, profundidad, forma de fondo, entre otras (Flachier, 2016).

1.3.16.3. Métodos eco-hidráulicos

El enfoque eco-hidráulico, también conocido como enfoque hidrobiológico, agrupa métodos donde el objetivo precisa determinar las aptitudes que el hábitat acuático que requiere en base a la especie o conjunto de estas ya la información hidrológica e hidráulica que presenta el cuerpo acuático.

A este método se le puede integrar cálculos del perímetro mojado, sin embargo, primordialmente se basa en obtener datos hidrológicos, hidráulicos y biológicos de un área, cuya finalidad de estudio es el efecto de las variaciones del caudal sobre la estructura del flujo de corriente analizada, calidad del agua y disposición de los hábitats, con esto se logra relacionar el caudal y el índice de hábitats, con ello se determinan los caudales propicios al bienestar vital de ciertos organismos (Chavarría et al., 2020). Existen tres métodos representativos, tales como:

A. Instream Flow Incremental Methodology (IFIM)

Este método es el más conocido entre los investigadores de caudales ecológicos, utiliza datos de índole biológico, hidráulico e hidrológico. Al mismo tiempo, se analizan los resultados de las fluctuaciones del

caudal para la presencia de hábitats de las especies del lugar, calidad química y temperatura del agua, y la estructura del cauce. Para ello se realiza estudios de las características particulares de una serie de secciones transversales localizadas secuencialmente. Con la obtención de la información necesaria se realiza la simulación hidráulica predictiva que modela el tramo en estudio a nivel de las velocidades y de profundidades para un rango predefinido de caudales (Mayo, 2000).

Para elaborar el modelo simulado, se necesita de la información de las curvas de preferencias de hábitats de las especies acuáticas seleccionadas y presentes en la sección en estudio para su análisis. Incluso es posible añadir información acerca de las preferencias del hábitat de las especies acuáticas en otros estadios de vida (adulto, juvenil, alevín), como se observa en la figura 6 y 7 (Mayo, 2000).

Figura 6

Curva de preferencia referencial de la trucha arco iris (Onchorhynchus mykiss) para la variable velocidad

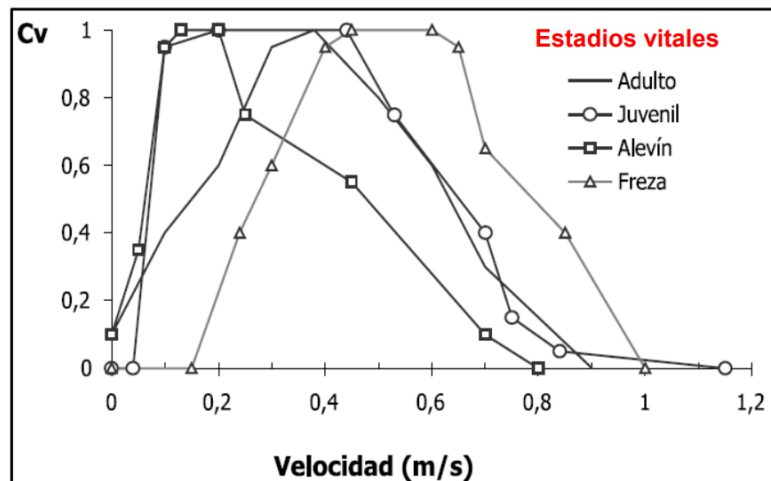
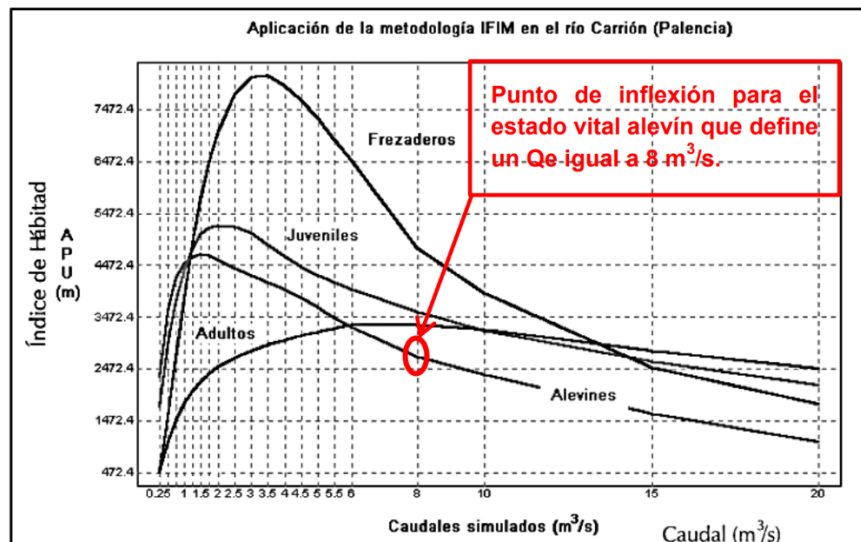


Figura 7

Relación Q-IH para los cuatro estadios de la trucha común (Salmo trutta)



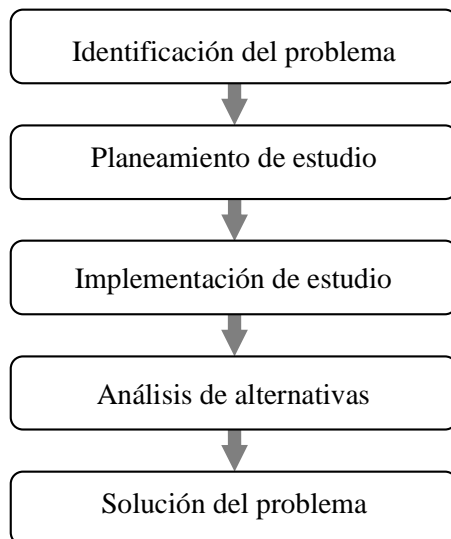
Por lo tanto, una modelación con el método IFIM es agrupar las simulaciones de las velocidades y profundidades con las curvas de preferencia de las especies en estudio. A partir de ello se genera una curva que relaciona el Índice de Hábitat (IH) con el caudal, que describe cuales son los caudales ecológicos usados para que logren subsistir y desarrollar las especies analizadas (Brown et al., 2016; ENDESA Chile, 2011). Y determinan los puntos de inflexión correspondientes a caudales mínimos permisibles de las especies en estudio (Consuegra, 2013).

Para lograr estos resultados se necesita en primer lugar realizar estudios previos de riqueza biológica en los tramos estudiados, permitiendo seleccionar especies o grupos taxonómicos a evaluar. Esta selección es evaluada ante puntos de vista profesionales; como, que especie es la más abundante, cuáles son las más vulnerables, si se encuentran en peligro, las más consumida por las poblaciones, la más importantes en términos económicos, entre otros. Además, se necesita de información de cada sección transversal como topografía batimetría del cauce, velocidad y profundidad de la corriente media. Para facilitar el modelo a realizar se

desarrolla un paquete informático denominado IFIMPHABSIM, presentado por el U.S. Geological Survey (USGS) (Mayo, 2000).

En los años 70, la U.S. Fish and Wild Service diseñó la metodología IFIM cuyo fin es determinar las consecuencias ambientales sobre las especies dependientes de estos ríos de acuerdo al análisis de su conveniencia. Con el método se logra cuantificar la superficie útil para las especies de análisis en diferentes caudales a través de un proceso metodológico que consiste en cinco fases en serie como se aprecia en la figura 8 (Mayo, 2000).

Figura 8
Flujo de trabajo IFIM



Fuente: ANA (2015)

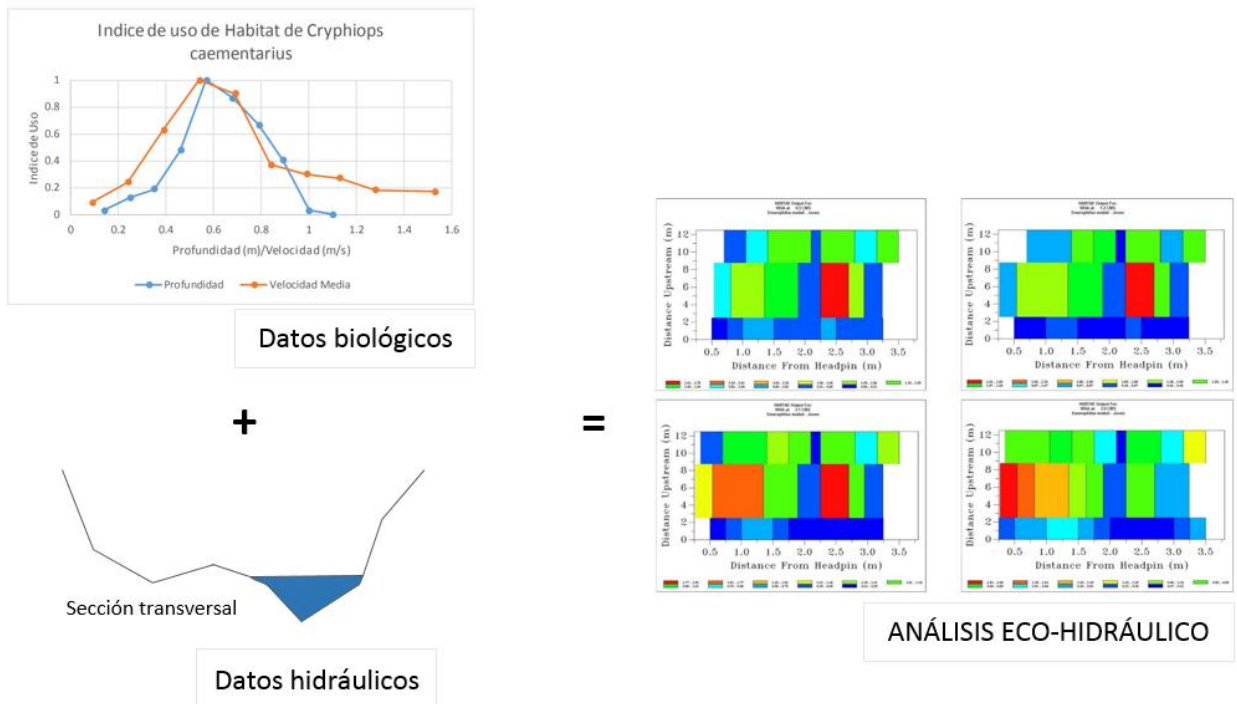
La primera fase es la identificación del problema, donde se examinan condiciones y el reconocimiento de los sitios de conflicto del área a estudiar. La segunda fase es el planeamiento de estudio, en la cual se desarrolla una lista de información precisa para el diseño del método y proyectándose la forma de obtención de aquella que no se encuentra completa o disponible. En la tercera fase de la implementación del estudio, se realiza la preparación de un modelamiento del hábitat para evaluar la competencia de un área delimitada a través de un índice cuyo valor va de 0 a 1. De la obtención de resultados en la fase anterior, se

propone una secuencia de posibles soluciones, que deben ser analizadas. Por último, en la quinta fase del procedimiento, las partes involucradas escogen las medidas a desempeñar.

La información requerida en el desarrollo de la simulación del hábitat es de naturaleza hidráulica y biológica, las cuales son típicas de un río y de especies sensibles. El primero es el resultado de la simulación anterior que utilizó datos específicos del río, como profundidad y velocidad de la corriente del caudal. La información biológica se procesa a través curvas preferenciales, que representan la afinidad de las especies analizadas en diferentes velocidades, profundidades y diferentes fases de vida de los sustratos. La combinación de los datos procesados permite determinar un área potencialmente útil con relación al caudal del cuerpo de agua (Flachier, 2016).

Figura 9

Esquema del funcionamiento del método IFIM



Fuente: Morales (2017)

B. Método de Límites Ecológicos en las Alteraciones Hidrológicas (ELOHA)

Este método es empleado para casos donde no existe posibilidad de realizar un estudio detallado pero técnicamente es muy acertado, ya que se basa en los datos de estudios ecohidrológicos. Se vincula a los regímenes hidrológicos con los resultados ecológicos de la alteración del río. Realizado a través de correlaciones de las medidas de condiciones ecológicas y caudales fluviales.

ELOHA, este método sugiere el uso de softwares computacionales HIP (Proceso de Evaluación de la Integridad Hidroecológica) desarrollado por el U.S. Geological Survey; o IHA (Indicadores de Alteración Hidrológica) desarrollado por The Nature Conservancy en 2015. Con estos softwares se posibilita el análisis de datos hidrológicos, como también el cálculo del grado de modificación hidrológica.

El método está basado en un procedimiento científico:

1. Diseño de una base hidrológica empleando hidrogramas fluviales diarios o mensuales, en largos períodos de tiempo.
2. Clasificación y subclasificación de secciones de los ríos según su caudal y similitudes morfológicas.
3. Cálculo del cambio hidrológico en cada tramo de río, para lo cual se puede utilizar softwares computacionales antes indicados.
4. Establecer relaciones entre los cambios de caudal y la respuesta ecológica. Para esto se utiliza grupos bióticos sensibles a los cambios y uso de herramientas estadísticas para establecer las relaciones.

ELOHA también sugiere mecanismos de gestión que puedan utilizarse, estableciendo el siguiente proceso:

1. Determina las condiciones ecológicas aceptables para cada sección o tipo de río, pero de acuerdo con los valores sociales interesados, a través de discusiones públicas presentando resultados científicos.

2. Elaboración de los objetivos de caudal ecológico o ambiental, de acuerdo al grado de alteración permisible.
3. Gestión e implementación de caudales ambientales, como parte de una planificación hidrológica. Por lo que, ELOHA no es solo un método de determinación de caudal ecológico, sino también una herramienta de gestión.

Este método como las consideraciones ecológicas con características generales de un grupo de ríos, como los cambios en el caudal para determinar posibles efectos en las especies. De estos, las restricciones de uso están diseñadas para preservar las condiciones naturales de los ecosistemas. En el desarrollo del método ELOHA sigue tres procesos sucesivos que permiten evaluar el proceso científico, el proceso social y el proceso de seguimiento y proceso de monitoreo y evaluación.

- **Proceso científico:** Está referido a la recopilar y evaluar la información y datos hidrológicos necesarios del área de estudio, clasificar el río según la elevación e identificar posibles respuestas ecológicas ante los cambios en el comportamiento del flujo de río.
- **Proceso social:** Ubica y fija los rangos donde puede oscilar las características hidrológicas para preservar los ecosistemas teniendo en cuenta consideraciones sociales y económicas.
- **Proceso de monitoreo y evaluación:** Esto le da al método un carácter adaptativo, ya que el seguimiento y otros estudios, se ajustan a los objetivos para lograr un valor adaptativo.

C. Régimen Estacional de Caudales Ecológicos – RECE

Con este método se tiene en cuenta los procesos hidráulicos, hidrobiológicos e hidrológicos, y para implementarlo primero es necesario determinar el tiempo mínimo necesario para evaluar el caudal ecológico; además de ajustar la función estadística de distribución de

una secuencia de flujos en un periodo de tiempo, ya sea aforado o simulado (Flachier, 2016).

Además, se necesita determinar el primer punto de inflexión de la curva de distribución del caudal, que corresponde al caudal ecológico de cada temporada. Finalmente, las características biológicas y fisicoquímicas del flujo de se relacionan con el caudal de variación, a través de modelos hidráulicos (Consuegra, 2013).

Para las características biológicas y fisicoquímicas se deben considerar: (i) La susceptibilidad del flujo continuo en el cauce del río por captación de agua; (ii), periodos de inundación sobre zonas ribereñas que permiten el funcionamiento de los bosques de galería; (iii) la capacidad de mantener una abundancia de especies acuáticas tanto peces e invertebrados, y anfibios; (iv) la probabilidad de ocurrencia de especies acuáticas con respecto al valor de una determinada variable física y química, que se calcula mediante el Índice de Calidad de Hábitat (ICH) (Flachier, 2016).

Según Chávez (2020) el cálculo de este procedimiento se ejecuta de la siguiente manera, considerando los procesos hidrológicos, hidráulicos y también los hidrobiológicos:

1. Determinar el período mínimo, debe hallarse los caudales ecológicos, mensualmente en cada época del año, y se debe ajustar la función de distribución estadística de una serie caudales aforados durante el periodo establecido.
2. Calcular el caudal de variación a través del primer punto de inflexión distinto de cero de la curva que se ajusta a la función de distribución del caudal. Este caudal de variación se designa como el caudal ecológico para cada periodo que cumple con ciertos criterios biológicos y fisicoquímicos.

3. El modelamiento hidráulico permite determinar la relación entre la hidrología (caudal de variación) y las características fisicoquímicas y biológicas de un ecosistema fluvial.
4. Validación del cumplimiento de los criterios bióticos y abióticos distinguiéndose entre estos: la vulnerabilidad hidráulica de los cauces a la continuidad del flujo, derivada de la detención de aguas.

Para la aplicación de este método se necesita de registros históricos diarios, mensuales y /o anuales de los caudales así como datos de batimetría, cobertura vegetal ribereña, planos de inundación, riqueza de invertebrados, peces y anfibios y selección de la comunidad biótica o especie de interés (Consuegra, 2013).

1.3.16.4. Métodos holísticos

En los años 90, se desarrollan métodos holísticos, que requieren una amplia investigación porque su análisis involucra factores hidrológicos, hidráulicos y biológicos, también de información acerca de la calidad de agua y las condiciones sociales y económicas.

El método holístico presenta dos enfoques, el de aproximación *bottom-up*, cuyo objetivo es diseñar la construcción de un régimen de caudal alterado mediante la incorporación de componentes de caudal en una línea base de caudal cero, y de aproximación *top-down*, que demuestra cuanto puede modificarse el régimen de caudal de un río antes de que cambien los ecosistemas acuáticos. Por lo que estos métodos buscan integrar componentes hidrológicos, hidráulicos, biológicos y sociales, para el cálculo del régimen de caudal ambiental (Chavarría et al., 2020).

A. Método de evaluación por grupo de expertos (EPAM) -1995

Se desarrolló en Australia, se enfoca básicamente en la conservación de especies de peces. Se efectúa un consenso grupal de diversos expertos que argumentan aspectos ictiológicos, de macroinvertebrados y geomorfológicos de ecosistemas fluviales, y generar opiniones acerca de las variaciones del caudal y sus efectos de funcionalidad del

ecosistema. La información de campo requerida por este método es mínima y está basado en el juicio de los profesionales, por lo que suele llegara a ser subjetiva y justificado en el conocimiento obtenido, y sin tener la posibilidad de una validación y posterior seguimiento (Consuegra, 2013; King et al., 2008).

B. Método de evaluación por equipo científico (SPAM) -1996

Este método se basa en el EPAM y determina el caudal ecológico a través del trabajo multidisciplinario de equipo. La diferencia del EPAM y SPAM, implica trabajos de campo de recolección de información primaria, observaciones directas, e interpretación de datos (Flachier, 2016).

En las sesiones grupales, los investigadores deben llegar a consensos referidos a: (i) determinación de criterios en la definición de un caudal ecológico, teniendo en cuenta las características de vegetación ribereña, la ictiofauna, los invertebrados acuáticos, los macrófitos y la geomorfología; (ii) determinación de criterios para la estructura física del cauce, la hidrografía y el régimen de caudal, en diferentes escalas espaciales; (iii) identificación de efectos e impactos sobre los componentes del ecosistema, para vincular los regímenes del caudal y la respuesta del ecosistema (Consuegra, 2013; King et al., 2008).

C. Building Block Methodology (BBM)

Desarrollada en Sudáfrica y consiste en una modificación del método SPAM. En este método, las fluctuaciones de caudal son variaciones que causan dinámicas disruptivas en el ecosistema, sin embargo la biota acuática esta adaptada a ese medio. Por lo que, mantener la funcionalidad del ecosistema, debe identificarse los factores principales del régimen de caudal para luego ser insertadas en el régimen modificado (Consuegra, 2013; King et al., 2008).

Según Pantoja (2017) en este método se realiza en sesiones grupales de especialistas involucrados en temas de ictiofauna, ecología acuática, macroinvertebrados, geomorfología, vegetación ribereña e hidráulica. Exponiéndose y organizando la información primaria y secundaria, e identifican la importancia ecológica, social y económica de los ríos a nivel local, regional, nacional e internacional. Generalmente el trabajo multidisciplinario se desarrolla en dos fases:

1. Se selecciona ciertos transectos, entre 1 a 5, de la sección en estudio, donde se caracteriza la vegetación ribereña, la flora acuática y el sustrato. Luego en cada transecto se establece las relaciones que existen entre el caudal, la hidromorfología y los hábitats. Para ello, se necesita datos de curvas de duración del caudal y períodos de retorno, siendo registrado todo en un informe.
2. El grupo multidisciplinario realiza labores de inspección de campo, con los datos recolectados, se desarrollan propuestas de regulación mensual del caudal, en base a ciertos criterios biológicos como es el ciclo de vida de la especie (desarrollo, reproducción, desove y migración).

Para determinar el régimen de caudal ecológico se basan en los objetivos del manejo del cauce hídrico; entre otras funciones como la protección de especies de peces de importancia alimenticia o comercial, el mantenimiento de áreas de recreación o turísticas, protección de especies ribereñas, entre otros. Es decir, el caudal ecológico puede ser diferente si se trata de proteger una especie íctica, o si se pretende conservar un área de importancia social (Consuegra, 2013; Dyson et al., 2003; King et al., 2008; King y Louw, 1998).

El método BBM fue desarrollado por expertos, cuya finalidad es proporcionar un análisis que no solo considere a la vegetación ribereña, las propiedades hidráulicas, la ecología acuática, sino que incluya aspectos sociales y económicos para determinar el caudal ecológico

(Flachier, 2016). Así mismo, King y Louw (1998) mencionan que el método asume lo descrito como se muestra en la tabla 7.

Tabla 7

Asunciones optadas por King y Louw para la aplicación del método BBM

Nº	Asunciones
1	El caudal es una característica normal de los ríos y las especies se han adaptado a las variaciones de los flujos de agua y esta no afecta a su sistema, pudiendo alterar su función natural.
2	Identificar los factores más característicos e importantes del régimen natural de los ríos con caudales alterados esto facilita el mantenimiento de las especies biológicas y el funcionamiento natural del río.
3	Ciertos tipos de flujo pueden afectar la morfología del canal, y la identificación precisa de los regímenes modificados permitirá conservar la estructura natural y la biodiversidad existente en los cauces.

Fuente: King y Louw (1998)

1.3.17. Ventajas y desventajas de los diferentes enfoques metodológicos

Las metodologías mencionadas con anterioridad tienen ventajas y desventajas en su aplicación, que son de suma importancia para seleccionar al momento de determinar el caudal ecológico de un determinado ecosistema fluvial de la zona en estudio (Consuegra, 2013; Dyson et al., 2003; King et al., 2008). Estas ventajas y desventajas se especifican de acuerdo a Flachier (2016), según el enfoque dado:

1.3.17.1. Enfoque Hidrológico

A. Ventajas

- Casi siempre su ejecución son más económicas.
- Por lo general la información hidrológica requerida está disponible y de fácil acceso.
- Los cálculos matemáticos son más versátiles.

- Para su determinación no requiere de tiempos excesivos de estudio.
- La obtención de información también es útil para otros enfoques metodológicos.
- Permiten seleccionar la metodología más idónea para su aplicación.

B. Desventajas

- Al no considerar las características físicas ni biológicas de un cauce, pueden dar valores subestimados.
- No siempre están de acuerdo con los requerimientos de las especies que habitan en el lugar.
- En ciertas ocasiones se basa en presunciones que podrían ser irreales.
- Ciertos métodos pueden ser aplicados solo a lugares específicos y no a otras realidades.

1.3.17.2. Enfoque hidráulico

A. Ventajas

- Para su aplicación no se necesita de un tiempo largo de trabajo.
- Una de las mayores ventajas es la visualización de los vínculos existentes entre las condiciones físicas hidráulicas y las características ecológicas del cauce hídrico.
- Se ajustan mejor a la realidad cuando los estudios se realizan en transectos.

B. Desventaja

- Debido al requerimiento de la información conseguida en campo suelen ser muy costosos a comparación de los hidrológicos.

- El modelado se realiza en base a un limitado número de transectos, asumiendo las características ecológicas en las secciones de análisis, que no son comprobadas en su mayoría de casos.
- Se basa en muchas presunciones.

1.3.17.3. Enfoque hidrobiológico (ecohidráulico / ecohidrológico)

A. Ventajas

- Demuestran las interrelaciones entre las propiedades ecológicas y físicas del canal.
- Se evalúa las respuestas de los organismos acuáticos, principalmente peces, a las variaciones temporales y espaciales de las corrientes de agua.
- Estos pueden utilizarse como herramientas para otras investigaciones hidrogeológicas y evaluaciones de impacto, así como para la conservación y planificación de la gestión.

B. Desventajas

- La identificación de caudales ecológicos se limita a grupos taxonómicos o biomas, pero no a cuencas enteras.
- Requiere una investigación más profunda e interdisciplinaria, lo que aumenta el costo y el tiempo de implementación.
- Falta información sobre requerimientos de hábitat y curvas de preferencia de especies, y menos aún sobre ciclos de vida.

1.3.17.4. Enfoque holístico o funcional

A. Ventajas

- Integran información biológica, hidrológica, hidrográfica e hidráulica, así como otro tipo de información como la información socioeconómica.

- Todos estos aspectos son interdependientes, lo que lo convierte en un método más completo.
- Puede incluir información requerida por otros enfoques anteriores.

B. Desventajas

- Es muy costoso y requiere mucho tiempo de análisis ya que hay que contratar a diferentes especialistas.
- Los grupos de trabajo a veces no logran llegar a un consenso, lo que conlleva a debates y discusiones.

1.3.18. Gestión integral de los recursos hídricos (GIRH)

Los investigadores tienen un interés primordial y preocupante ante la posible escasez hídrica a futuro a consecuencia de un manejo ineficaz del recurso hídrico, la cual afectaría de forma directa e indirecta a diversos sectores industriales, como la pesquería (Córdova, 2015).

Los ecosistemas naturales interactúan dentro de una cuenca hidrográfica, cuya complejidad está directamente relacionada con el tamaño de la cuenca. Estos ecosistemas incluyen elementos como el clima, el aire, el suelo y subsuelo, la vegetación, el agua, la fauna, entre otros, que en conjunto forman lo que se conoce como suministros de servicios y bienes ambientales, y lograr un uso sostenible de la misma (Ordóñez, 2011).

La GIRH es un procedimiento que impulsa el desarrollo y la gestión coordinada del agua, los recursos asociados y la tierra, para maximizar los beneficios económicos y sociales equitativos sin involucrar la sostenibilidad de los ecosistemas (Ordóñez, 2011).

El enfoque de GIRH promueve el desarrollo y la gestión del agua, la tierra y otros recursos relacionados, mejorando de manera equitativa los beneficios socioeconómicos resultantes sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas (Ordóñez, 2011).

Figura 10

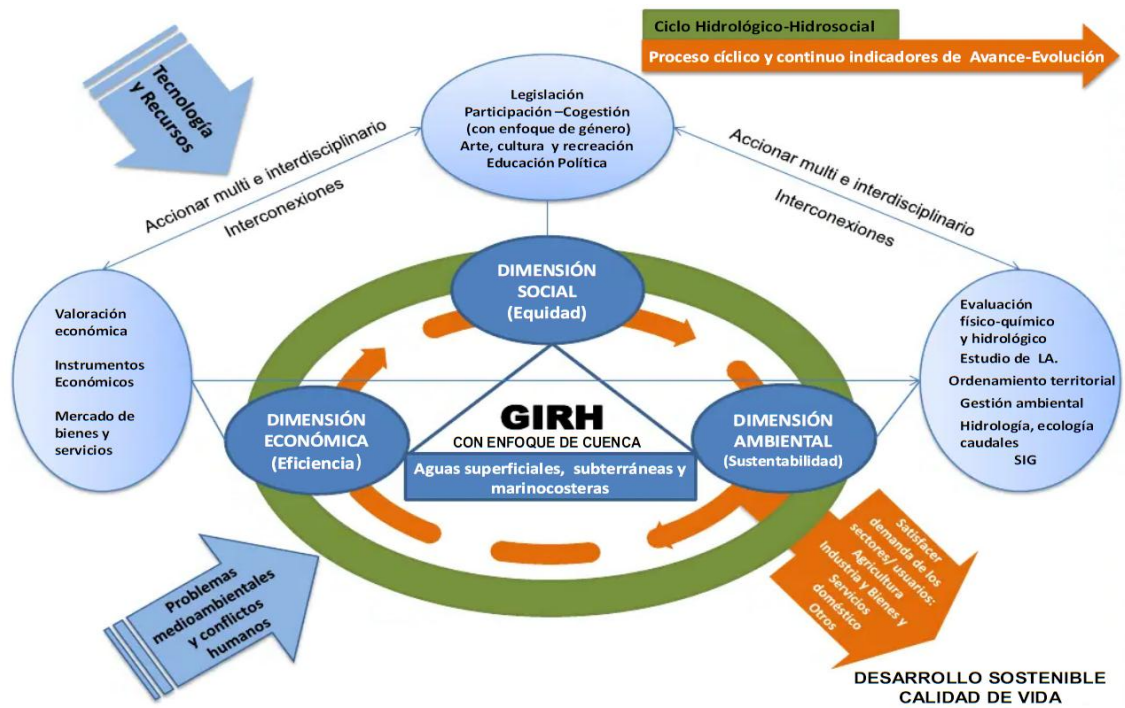
Gestión integrada de los recursos hídricos



Fuente: Ordóñez (2011)

Figura 11

La gestión integrada de los recursos hídricos



Fuente: Ordóñez (2011)

1.3.19. Represa

Conocido también como dique o presa, es una estructura de piedra u hormigón construida en un lugar determinado de la corriente natural del cauce con el fin de almacenar y controlar parte del caudal de la corriente de un río. La estructura debe diseñarse con el fin de soportar fuerzas generadas por la presión del agua, e imposibilitar la filtración de la estructura y en la superficie de contacto entre el terreno natural adyacente y la estructura. Asimismo, la estructura de la represa debe cumplir con obras complementarias que permita el flujo del agua que sea embalsada (Alvaro, 2017).

Además, esta estructura edificada al encontrarse sobre el cauce natural o artificial, permite generar la acumulación o elevación del nivel del agua y de esta forma se produciría una distribución de diferentes caudales naturales. Según la Comisión Internacional de Grandes Presas (International Commission on Large Dams, ICOLD), una represa es *“la barrera o una estructura colocada atravesando un flujo de agua o de un río con la finalidad de almacenar, controlar y derivar agua”* (Sandoval, 2018).

Para Zmijewski (2017) con base en las definiciones descritas se infiere que las represas son construidas para diferentes finalidades, destacando:

- Disponibilidad para riego de cultivos.
- Usos municipales y agua potable.
- Uso industrial y aprovechamiento energético.
- Mitigación de inundaciones (control de crecidas o avenidas).
- Regulación del caudal.
- Turismo y recreación.
- Cría de animales y piscicultura
- Retención de sedimentos

Si la represa satisface a la vez varios objetivos, el proyecto es considerado como de propósito múltiple (Sandoval, 2018).

1.3.20. Elementos constitutivos de una represa

De acuerdo con Córdova (2015) los elementos que conforman a una represa son:

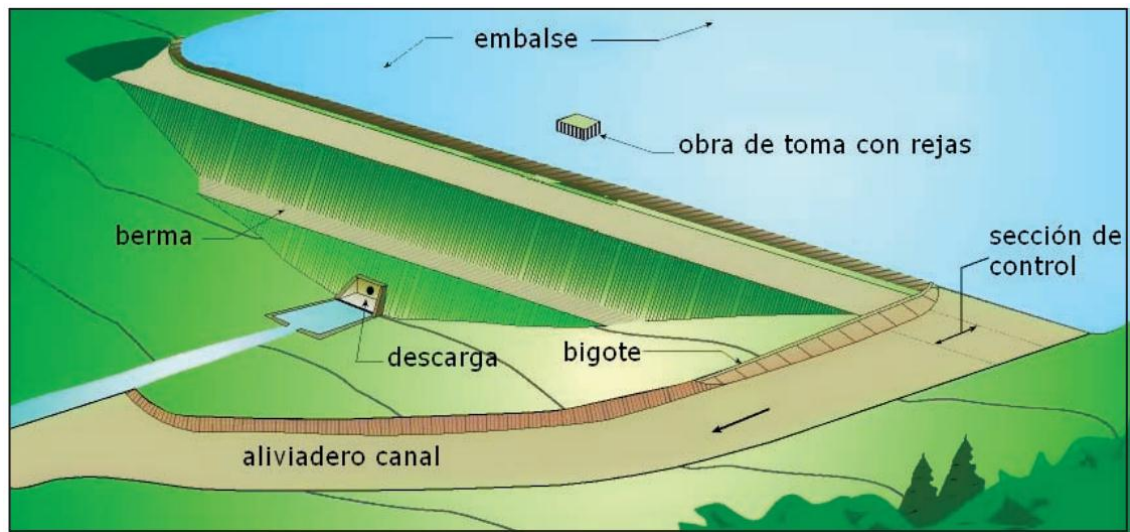
- Los taludes o paramentos; son dos superficies principales casi verticales que limitan el cuerpo de la represa, que ese encuentra en contacto con el agua, y el exterior o de aguas abajo.
- La cresta o corona; superficie que delimita la represa en la parte más alta. Es la parte superior de la represa y algunas veces es útil para la proyección de caminos transitables o no transitables.
- Los estribos o empotramientos; son superficies laterales del muro, se encuentran en contacto con la boquilla contra la que se apoya.
- La cimentación; parte de la estructura de la represa, mediante la cual se transmite las cargas al terreno, las generadas por la presión hidrostática como las del peso de la estructura.
- Las compuertas; dispositivos mecánicos orientados para la regulación del caudal de agua a través de la presa.
- El desagüe de fondo; mantiene el caudal ecológico aguas abajo de la presa y vacía la presa en caso sea necesario

Para la construcción de un tajamar o represa pequeña esta estará constituida básicamente por la misma represa, apoyada en el terreno mediante estribos laterales así como los elementos mencionadas anteriormente (MVOTMA, 2011).

- El embalse; contiene el volumen de agua localizada aguas arriba de la presa.
- La obra de toma y su conducción hacia aguas abajo; permite la toma y conducción del agua hacia el uso al cual está designado.
- Aliviadero o vertedero; permite la evacuación del exceso de agua sin producir daños por erosión, de esta manera se evita que el nivel del embalse se eleve más de lo permitido impidiendo el sobrepaso de la presa.

Figura 12

Elementos constitutivos de una presa



Fuente: MVOTMA (2011)

1.3.21. Principales problemáticas en la gestión ambiental de represas

La existencia de una represa va permitir gestionar eficientemente de los recursos hídricos en regiones geográficas específicas para que los embalses de agua puedan contribuir a satisfacer las necesidades locales. Sin embargo como estas infraestructuras representan la variabilidad de la cuenca hidrográfica, como consecuencia, se observan diferentes impactos ambientales (Matienzo, 2014).

Los aspectos particulares de una evaluación de impacto ambiental (EIA) relacionados a embalses son consecuencias directas de los cambios importantes en la naturaleza que producirán al medio donde se establecerá el embalse como a aquellos otros un poco más distantes en los que influirá (Espinosa et al., 2010).

Desde el punto de vista ambiental, el aspecto más característico es la formación de un nuevo ecosistema en el zona que lo acogerá, físicamente caracterizado, presenta aguas profundas y quietas, la presencia de esta nueva estructura eliminará el ecosistema anterior, con presencia de aguas no muy profundas y en movimiento. Esta modificación genera repercusiones en otros sistemas naturales vinculados. Las afectaciones del tipo social y económico tienen inesperados alcances. El suministro de agua a los pobladores del entorno afectado y la protección contra las crecidas se encuentra entre los futuros

beneficios. Las afectaciones negativas de índole grave, como inundaciones de tierras de cultivo o de comunidades completas, el origen de un elemento de riesgo o destrucción del paisaje natural y característico de una región, son pérdidas de difícil evaluación (Prats et al., 2014).

Según la CMR (2000), los impactos generados en el ecosistema por represas se pueden clasificar en:

- Efectos primarios, incluidas las consecuencias físicas, químicas y geomorfológicas de la interrupción de las fuentes de agua y la alteración de la distribución natural y la periodicidad de su caudal.
- Efectos secundarios, incluidos los cambios en la productividad biológica primaria de los ecosistemas. Por ejemplo, los impactos en la flora ribereña y ribereña, así como en los hábitats río abajo, como los humedales.
- Efectos terciarios que implican cambios en los animales (p. ej., peces) debido a efectos primarios (p. ej., inhibición de la migración) o efectos secundarios (p. ej., reducción de la población).

1.3.21.1. Efectos ambientales por la regulación del caudal

Por lo general los embalses a menudo reducen los niveles de inundación por debajo de las represas, lo que ralentiza la formación de vegetación ribereña, reduce el hábitat disponible para los peces en las llanuras de inundación y puede conducir a la creación de un hábitat más favorable para el crecimiento de los macrófitos. Las partículas perturban las zonas de desove de algunos salmónidos y afectando a los invertebrados acuáticos, generalmente lechos de grava.

Dependiendo del propósito principal del embalse, puede tener otros efectos importantes. Como resultado, los embalses de riego pueden reducir la escorrentía anual promedio debido al consumo de agua agrícola y la evaporación de algunos embalses. Además, a menudo crean un entorno temporal a contracorriente, es decir, un caudal alto en verano y un caudal bajo en invierno en comparación con el entorno natural, lo que altera la productividad de las cadenas alimentarias y los ecosistemas fluviales (Córdoba, 2015).

1.3.21.2. Eutrofización

La eutrofización en ecosistemas acuáticos es el resultado del exceso de nutrientes, lo que lleva a una sobreproducción de fitoplancton. Durante la estratificación térmica, el exceso de producción de biomasa en las zonas ligeras y aeróbicas se deposita en el fondo donde es mineralizado por organismos que utilizan el oxígeno del agua. En el caso de rendimientos superficiales importantes, todo el oxígeno disponible en las zonas más profundas del lago o embalse puede consumirse, provocando episodios de hipoxia. Las condiciones anóxicas pueden mediar y afectar negativamente la dinámica del fósforo, el nitrógeno y los metales pesados en la interfase agua-sedimento. Además, pueden corroer el acero, el cemento, las estructuras hidráulicas y otros problemas que generan olores y sabores desagradables.

Córdova (2015) afirma que la eutrofización de los embalses tiene dos causas principales. Es la afluencia de nutrientes de la cuenca y la materia orgánica presente en el lago cuando se vuelve a llenar.

1.3.21.3. Efectos ambientales por colmatación

El transporte de sedimentos puede causar problemas de estabilidad en las estructuras hidráulicas aguas abajo, ya que el almacenamiento de sedimentos en los embalses puede reducir significativamente la capacidad de los embalses con el tiempo, por lo que las técnicas de riego son una gran preocupación para las personas. Desde la perspectiva de un ecologista, el almacenamiento de sedimentos implica cambios en el transporte de nutrientes y materia orgánica. Los embalses contienen la mayor parte del sedimento transportado por los ríos. Los sedimentos aluviales están relacionados con el tiempo de residencia dentro de la presa, la velocidad del flujo de agua, la trayectoria y el uso de entradas inferiores para la toma de agua.

Como tal, la represa representa una barrera en el transporte de sedimentos, que se reactiva solo durante inundaciones o cuando se extrae la toma de fondo del embalse. La calidad de los sólidos en suspensión también varía con la presencia

de la represa, disminuyendo la producción de sedimentos y aumenta la proporción de materia orgánica (Córdova, 2015).

A medida que el tamaño de las partículas de los sólidos en suspensión disminuye y cambia el régimen hídrico, se transportan sedimentos particularmente finos, lo que provoca la elevación de los lechos de los ríos y cambios en los hábitats de los ríos. Una disminución en el transporte de sólidos conduce a un retroceso del delta, este es un impacto aún más importante en el contexto del aumento del nivel del mar. Puede producirse además fenómenos de corte del cauce como problemas de erosión localizada en pilas de puentes y otros, aguas abajo del embalse (Córdova, 2015).

1.3.21.4. Introducción de especies exóticas y especies invasoras

La construcción de embalses ha generado nuevos hábitats sin estructuras ecológicas integradas, lo que fomentó la colonización de nuevas especies que se introdujeron voluntaria o involuntariamente.

La preferencia de los pescadores de agua dulce por especies grandes y/o depredadoras ha conllevado a introducir nuevas poblaciones con características específicas. Otros efectos de la introducción van desde la extinción de especies nativas hasta la hibridación y hasta aparición de enfermedades. Por tanto, es recomendable tener un control de las nuevas especies de mucho interés para la pesca deportiva en embalses donde se producen (Córdova, 2015).

1.3.21.5. Modificación del régimen térmico fluvial

El efecto térmico de las represas va depender de muchos factores como el tamaño, profundidad de entrada y comportamiento térmico. Una represa de toma de superficie aumenta la temperatura aguas abajo. Para represas con extracción de agua profunda, el incremento y el impacto térmico va depender de la estación y está directamente relacionada con los procesos de mezcla y estratificación.

En temporadas de verano, estas represas liberan agua fría del hipolimnion, pero en temporadas de invierno, el agua liberada presenta temperaturas muy bajas de

lo que debería ser, esto debido a que la pérdida de calor del agua almacenada es más lenta (Córdova, 2015).

Además, los ciclos térmicos también suelen alterar los embalses, originándose la aparición de patrones espaciales con zonas alternas de variación diaria alta y baja. Los lugares con grandes cambios de temperatura durante el día pueden alcanzar elevadas temperaturas en ciertos momentos del día, siendo inadecuado para los peces de la zona. La distancia requerida para la recuperación del ciclo de calor va depender de la velocidad, el caudal, la latitud y los procesos de intercambio de calor del río con la atmósfera. Además, en ciertos casos las fluctuaciones rápidas en las corrientes pueden provocar bruscos cambios térmicos, afectando a poblaciones de macroinvertebrados (Córdova, 2015).

1.3.21.6. Efecto de los embalses en el balance de la producción de GEI

En general, un embalse tiene como efecto bloquear el cauce de un río mediante una estructura (dique o represa) construida con ese propósito, de modo que es más probable que el río forme un lago, lo que hace que el nivel del agua suba e inunde los terrenos de las riberas, dependiendo de la topografía local. La energía cinética del agua del río se convierte en energía potencial, lo que puede producir aumento de la energía eléctrica. Debido a la inundación de tan vasta área geográfica, los embalses provocan varios efectos negativos en términos de generación de gases de efecto invernadero. Esto se debe a la menor absorción de CO₂ y la producción de metano (CH₄) (Oviedo, 2018).

A. Reducción de la absorción de CO₂

La existencia de un embalse involucra la inundación de las riberas en zonas aguas arriba de la represa entre el nivel original del río y el nivel final del embalse. Si hay presencia de vegetación ribereña entonces existe una producción de CO₂ al ambiente, generalmente absorbido por la fotosíntesis. El grado de esta captación depende del tipo de vegetación existente en el área y la cuenca fluvial en la que se encuentra. Cuando la represa se llena, toda la vegetación existente en se inunda, sus procesos fotosintéticos se detienen y dejan de absorber CO₂, lo que puede tener

un impacto negativo. La altura absoluta de un embalse (en metros sobre el nivel del mar) es particularmente importante en este contexto, ya que es un factor que influye fuertemente en el tipo de vegetación que se encuentra y en su densidad superficial (Oviedo, 2018).

B. Producción de metano (CH₄)

En consecuencia a lo anterior, además de detener la captación de CO₂, la vegetación inundada provoca procesos de eutrofización que aumentan el contenido de materia orgánica, que en condiciones anaeróbicas al descomponerse libera metano (CH₄) hacia la atmósfera. Además, a menos que se filtren, los desechos orgánicos que transportan los ríos se acumulan en el fondo de los embalses (reduciendo así los volúmenes aprovechables), y su descomposición es una nueva fuente de metano que se libera a la atmósfera y continúa generándose. El metano al ser un gas de efecto invernadero con un potencial de calentamiento atmosférico (PCA) igual a 21 veces el PCA del CO₂ y se utiliza comúnmente como base para este parámetro (Palau y Prieto, 2009).

1.3.22. Impactos ambientales en las diferentes fases del proyecto de una represa

El diseño de un embalse es una de las obras públicas con más singularidad, y con muchas incidencias para el ambiente. Tales incidencias pueden ser positivas, negativas o mixtas. Entre las incidencias positivas se encuentra como suministros humanos y domésticos, la integración del agua al proceso energético, su ocupación en los ciclos naturales con fines recreativos y en usos industriales. Entre las consecuencias negativas se desarrollan las inundaciones de bastas áreas, que llegan a ser importantes impactos medioambientales; sin embargo la consecuencia negativa más importante deriva de la deterioro de la represa. Entre las repercusiones mixtas se muestran las que afectan a los regímenes hídricos de los ríos; esta escena es categóricamente positiva al traducirse en la laminación de crecidas, pero puede ser negativa cuando la variación del caudal de aguas abajo los distancia para la conservación de equilibrios biológicos y morfológicos del río (Prats et al., 2014).

Los impactos causados por la represa deben ser analizados, tomando en cuenta como el ecosistema responda en la fase de construcción del proyecto y durante la operación de la

represa. Los posibles impactos ambientales en las fases del proyecto se muestran a continuación:

A. Fase de planificación

Los estudios de impacto ambiental se pueden aplicar de varias maneras durante la preparación del proyecto:

- Participar en la selección de diversas alternativas de proyectos a nivel de planificación.
- Coincidencia del nivel del proyecto en varios niveles de detalle en las etapas de prefactibilidad y factibilidad.
- Investigación parcial en varias etapas del desarrollo del proyecto.

Para los embalses, a menudo hay múltiples objetivos, como la generación de energía hidroeléctrica, uso recreativo, regulación de escurrimiento, retención de materiales, defensa de terrenos inundables, abastecimiento poblacional. Durante esta fase de planificación del proyecto, la investigación tiene como objetivo identificar a nivel general los potenciales impactos del proyecto sobre el medio ambiente, de tal modo se informe al gestor, no solo de la valoración de los aspectos positivos del proyecto sino también de los aspectos negativos de la evaluación que es relevante para que se puedan tomar decisiones con el mayor conocimiento posible sobre los potenciales impactos (Espinosa et al., 2010).

B. Fase de construcción

El establecimiento de un embalse asociado al desarrollo de las actividades de construcción tiene un fuerte impacto ambiental en su entorno debido a la concentración de personas y vehículos que operan desde el exterior durante la construcción de la represa y sus complementos, modificando lo natural preexistente y condiciones sociales, efectos que conllevan al monitoreo las actividades del plan de seguimiento (Espinosa et al., 2010).

En adelante se describe una lista de actividades constructivas para el desarrollo del proyecto.

- a. Desvío de aguas y ataguías; durante el período que va desde el inicio de las actividades del cauce hasta el inicio de la acumulación de agua en el embalse, los caudales naturales no pueden regularse. La construcción temporal permite mantener áreas secas que recibirán la base de la obra terminada.
- b. Caminos y accesos; en cuanto a extensión y altura, la zona accesible a la obra y material transportado para su incorporación a la edificación se precisa de la construcción de caminos temporales y permanentes, para las tareas de control, conservación y vigilancia.
- c. Obras específicas de construcción para el proyecto, incluido movilización de maquinaria; comprende toda actividad necesarias en la construcción de la represa y las obras que la complementan, las cuales se realizan según un horario que ocupa todas las horas del día, durante las cuales se producen en cierta medida los movimientos ininterrumpidos de la presa como desplazamientos de obreros y maquinarias exigidos de acuerdo al plan de acción de trabajo.
- d. Transportes de material a la obra y fuera de ella; el material natural requerido para construir la estructura se extraen y procesan cerca al emplazamiento la represa. Por otro lado, los productos como cemento y combustible tienen que ser traídos desde fábricas o sitios de transporte.
- e. Vertido de tierra y material originado durante la construcción; la limpieza de las áreas de cimentación de la estructura y las excavaciones para que coincidan con las superficies respectivas conduce a la acumulación de residuos y escombros en los sitios de disposición, que deben ubicarse con anticipación.
- f. Edificios de obra; durante el período de construcción, se realizan levantamientos estructuras temporales como almacenes, talleres mecánicos, herrerías, carpintería, comedores, campamentos de personal, laboratorios, y más.
- g. Canteras y yacimientos de materiales; el desarrollo de canteras de material agregado (tanto el suelo para el cuerpo de la represa como agregados para el hormigón) produce efectos que merecen especial atención. Los que están en el interior del vaso futuro definitivamente tienen ventaja.

- h. Reposición de caminos; un nuevo embalse suele inundar suelos con infraestructura vial. La reinstalación oportuna disminuirá los reclamos y otros problemas.
- i. Limpieza del vaso; la remoción de la vegetación que quedará inundada, especialmente árboles, es una labor diseñada para reducir los problemas asociados con la calidad del agua embalsada y de los accidentes debido a la existencia de residuos vegetales no contabilizados del suelo. Esta limpieza se extiende a otros factores que pueden suponer riesgos para los posibles usuarios del embalse.
- j. Información socioeconómica y cultural; se refiere a actividades que no fueron consideradas previamente en la gestión del proyecto:
 - Reubicación de bienes inmuebles y áreas públicas.
 - Efectos comerciales de la construcción en zonas aledañas del proyecto.
 - Salvaguardar los restos arqueológicos o de valor patrimonial.
 - Generación de empleos temporales.

Listado de impactos ambientales durante la fase de construcción:

- a. Residuo de sedimentos originados en la construcción de la obra sobre la corriente del río natural.
- b. Descarga elementos contaminantes como pesticidas, petroquímicos o desechos orgánicos y otros.
- c. Contaminación por partículas sólidas en suspensión en el aire.
- d. Incremento de ruido a causa del uso de maquinarias y en diversas operaciones requeridas durante la obra de construcción.
- e. Inestabilidad de taludes por explotación de canteras. La mejor solución para la explotación de canteras es localizarlas en terrenos próximos y correspondientes al vaso del embalse de tal manera queden cubiertas por el agua una vez se inicie la inundación del embalse.
- f. Alteraciones en la morfología del cauce, en el paisaje y en la red de drenaje.

- g. Por las desviaciones del cauce se generan alteraciones sobre la flora y fauna.
- h. Cambios en las condiciones de vida de las personas debido a la presión sobre el uso de los servicios públicos y la población tradicionalmente formada en general.
- i. Introducción de vectores de enfermedades

C. Fase de operación del embalse

Corresponde al período desde que se utilizó la estructura hasta su abandono, período que podría abarcar varias generaciones.

Algunas actividades durante esta fase que generan impacto son (MVOTMA, 2011):

- a. Presa y embalse del agua; al finalizar la fase de construcción, se inunda el embalse por primera vez, cambiará la relación agua – terreno en las secciones del río correspondiente a la cuenca, así como el estilo de vida que se desarrolla dentro del cuerpo de agua.
- b. Infraestructura; para el funcionamiento del embalse es necesario contar con estructuras anexas a la represa que, dependiendo de su importancia, serían los canales de descarga, sistemas de iluminación, grupos de emergencia para energía eléctrica.
- c. Fluctuación del nivel de embalse; cuando el embalse funciona desde un nivel máximo a mínimo, se produce un rango de sequedad en el vaso que tiene un impacto significativo en varios factores ambientales.
- d. Regulación del caudal aguas abajo de la presa; el caudal se regula en conjunto con los programas de vertido a aplicar en el futuro, para corregir el régimen natural preexistente aguas abajo.
- e. Datos socioeconómicos; tal como se describió algunos casos en la fase de construcción, en esta fase los impactos son:
 - Generación de empleos permanentes.
 - Mantenimiento de instalaciones.
 - Riesgos de accidentes.

- Protección contra crecientes aluvionales.
- Efectos socio-económicos y culturales.

Listado de impactos ambientales generales durante la fase de operación, son:

a. En la zona inundada

- Al inundarse el vaso hidrográfico existe la pérdida de recursos.
- Cambios de las prácticas tradicionales debido al impacto en los usos del suelo por inundaciones del terreno.
- Debido a actividades de recreación aumenta la presencia de residuos al embalse.
- Contaminación del aire por el tráfico inducido.
- Descomposición orgánica en el embalse.
- Eutrofización; falta de oxígeno disuelto.
- Posible reducción en la diversidad de especies por los cambio de ambiente de río a lago.
- Las posibles obstrucciones de tomas se deberían a la sedimentación en el embalse lo que reduce el volumen útil y descargas de agua.
- A consecuencia de la desaparición de elementos característicos de la zona, existe la posibilidad de variación en el paisaje o modificación por la introducción de obras ajenas al medio.
- La fluctuación de niveles del agua producen inestabilidad de taludes. La salida repentina de agua del embalse es la situación más peligrosa, no solo para la estabilidad del talud del embalse, sino también para la estabilidad de la represa, especialmente si es de material suelto.
- Alteraciones sobre el nivel freático.
- Alteraciones en la fauna y la flora debido a cambios en su hábitat natural.
- Incremento en la humedad atmosférica.

- Efecto del remanso causando, por ejemplo, sedimentación en tributarios.
 - La temperatura en el embalse, provoca amplios cambios en la calidad de agua. Estos cambios son difíciles de predecir y dependen de la forma del vaso, el volumen de agua en el embalse, la radiación solar y la velocidad del viento.
- b. En la zona aguas abajo
- La retención de sedimentos aguas arriba genera erosión en el cauce.
 - Disminución de la fertilidad de los suelos al estar desprovistos de la aportación de limo.
 - La existir una variación en la calidad de agua se genera un impacto sobre la biota.
 - Estacionamiento y mantenimiento de maquinaria pesada. Esta área es crítica ya que aquí puede ocurrir derrame de lubricantes pudiendo contaminar el suelo si no se toman precauciones adecuadas. Bajo ninguna circunstancia se debe dejar residuos de aceite de mantenimiento en áreas próximas a ser inundadas, ya que contaminarán las aguas subterráneas.
 - Posible eliminación de nutrientes contenidas en el agua, con efecto sobre los agroecosistemas.
 - Impacto sobre los cultivos y peces, debido a la variación de temperaturas de las aguas.
 - Descarga de agua con temperaturas inadecuadas para los usos de aguas abajo.
 - Impacto beneficioso sobre los cultivos a través del control de inundaciones y mayores oportunidades de riego.
 - Control de la contaminación mediante la regulación del caudal en épocas de sequía.
 - Construcción de campamentos y viviendas para los trabajadores. Por lo general, las represas se construyen en lugares remotos, por lo que el viaje diario de los trabajadores puede ser un problema, lo que hace que la compañía constructora de

la represa construya villas para mantenerlas cerca de la obra. Teniendo en cuenta que el número de trabajadores puede ser de varios cientos, los campamentos temporales, que tienen una vida útil de 5 a 6 años, deben estar bien planificados, teniendo en cuenta los servicios básicos. El impacto ambiental que genere el campamento debe ser estudiado específicamente, con el fin de analizar medidas para minimizar impactos.

Un efecto de las cuencas en ambas áreas es que pueden alterar la actividad tectónica. La probabilidad de que produzca actividad sísmica es difícil de predecir; Sin embargo, se debe considerar todo el poder destructivo de las actividades sísmicas porque pueden causar deslizamientos de tierra, dañar la infraestructura de las represas y eventualmente colapsar (Córdova, 2015).

D. Fase de mantenimiento

Los impactos ambientales en la fase de mantenimiento son las siguientes:

- a. Los derrames de aceite y grasa, que pueden afectar la calidad del agua, generalmente se producen al cambiar la grasa, desmontar y limpiar las bombas y verificar el libre movimiento de todos los puertos y todas las partes móviles lubricadas con grasa
- b. Exposición al ruido.
- c. Exposición a la humedad, estrés térmico.
- d. Fatiga de la visión que es causada por lesiones por caídas menores y/o mayores.

Al identificar los impactos ambientales potenciales en los embalses de agua, use como ejemplo y guíe la matriz de impacto de las grandes represas de acuerdo con la Tabla 8. El desarrollo de una matriz de impacto ambiental como método analítico puede ser considerado importante por todos. el impacto potencial de la implementación del proyecto en cada una de sus fases (Córdova, 2015).

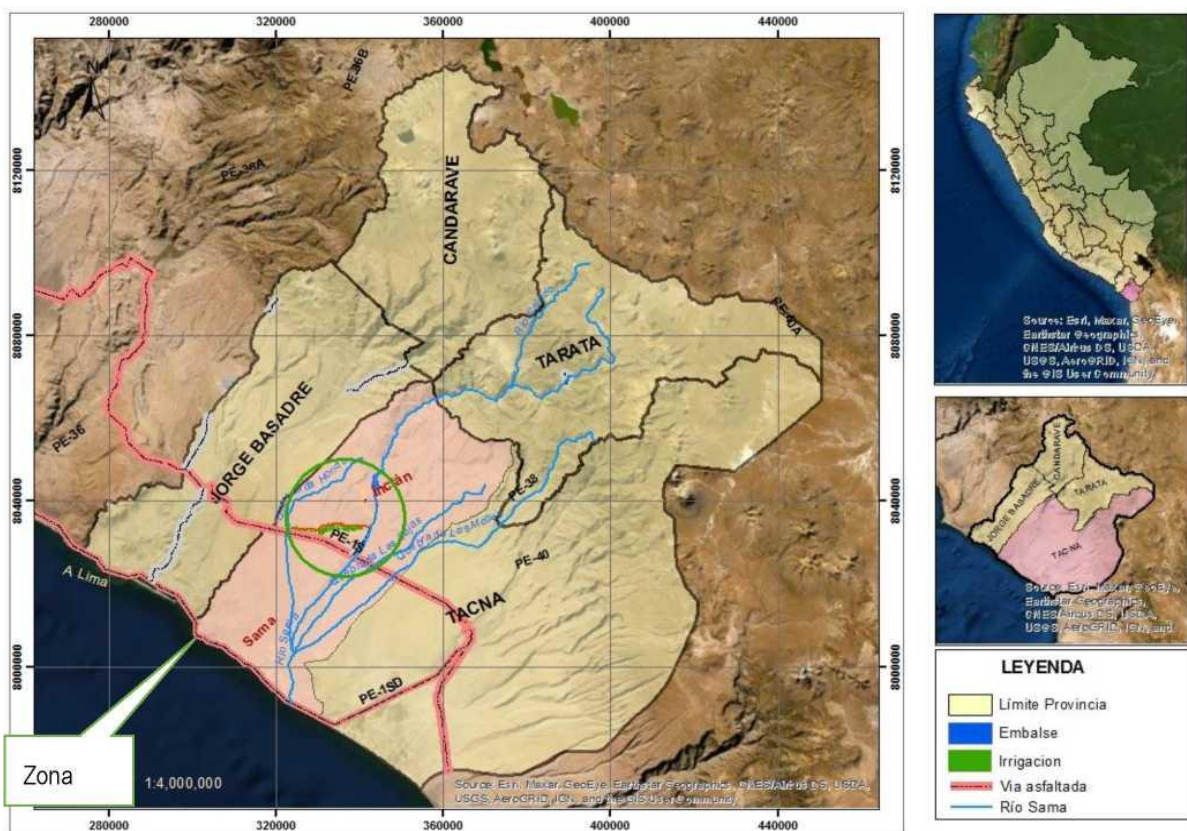
CAPÍTULO II MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Descripción de la unidad de estudio

La presente investigación se realizó sobre la propuesta de proyecto “afianzamiento hídrico de la cuenca río Sama, Tacna”, el cual se encuentra ubicado en políticamente en la región Tacna, provincia de Tacna y el distrito de Inclán.

Figura 13

Ubicación del proyecto de afianzamiento hídrico de la cuenca río Sama



Una característica importante de la cuenca del río Sama es su forma estrecha y alargada lo que afecta a las descargas de la corriente natural del río, sobre todo en eventos de máximo flujo. Por lo que, el comportamiento de los escurrimientos de una cuenca de forma casi circular serán diferentes a las características de la cuenca en estudio, que es estrecha y alargada en la misma área. La cuenca en estudio presenta:

- Una elevación 2 060,25 msnm, y una pendiente de 27,88 %.
- La cuenca de río Sama presenta un coeficiente de compacidad (K_c) calculado de 1,51. Lo que indica una deformación moderada de la cuenca respecto al valor límite teórico que es la unidad.
- La relación de elongación (R_e) resultante en la cuenca de estudio es de 0,61. valores cercanos a la unidad están relacionados a relieves suaves y de 0,6 a 0,8 indica relieves fuertes o pendientes pronunciadas, por lo que la cuenca en estudio tiene un relieve fuerte con valores que indican pendientes pronunciadas.
- El valor calculado para el factor de forma (K_f), es de 0,29 para la cuenca, dicho valor indica que la cuenca está estrechamente ligada a crecientes súbitas

Esta idea de proyecto comprende inicialmente en la captación, regulación, conducción y aprovechamiento de los recursos hídricos del río Sama.

A. Represa

La construcción de 01 presa de CFRD (Presa de Enrocado con pantalla de concreto) con un volumen de almacenamiento total de 120 MMC (millones de metros cúbicos), con 105,8 m de altura de presa (sobre su cimentación). Su corona tiene una longitud de 295 m y un ancho de 14 m. Los taludes de la presa aguas arriba y abajo son de 1.5H:1.0V. En su cimentación se empleará un tratamiento de inyecciones de impermeabilización. Sus obras conexas comprenden:

- 01 Vertedero: De una longitud de ingreso de 40 m de ancho, diseñado para un caudal de $595,57 \text{ m}^3/\text{s}$ para un periodo de retorno de 10,000 años. La longitud desde el ingreso al vertedero hasta su descarga es de 366 m.
- 01 Toma de desvío: Ubicada aguas arriba de la ataguía proyectada, con un ingreso de forma rectangular de 2,80 m x 3,50 m, la cual permitirá el desvío del río hacia aguas debajo de la zona de construcción de la presa.
- 01 Toma de fondo: Ubicada en el eje de la toma de desvío, con un ingreso de forma rectangular de 3,00 m x 3,35m, la cual permitirá la descarga de la presa (vaciado).

- 03 Tomas de Alimentación: Ubicadas en tres niveles de operación (mínimo, promedio y máximo), con una dimensión de ingreso de 2,80 m x 2,80 m.
- 01 Torre de alimentación: La cual se ubica en la intersección de las conducciones provenientes de las tomas de desvío, fondo y alimentación. Es de concreto armado, con una altura de 100 m y un diámetro exterior de 8,50 m, contará con un puente de acceso de 15,00 m de luz de concreto armado, así mismo, para su desplazamiento interior contará con un ascensor y una escalera circular metálica de emergencia. La torre de alimentación permitirá el control de las tomas a través de válvulas tipo mariposa. Además, para su operación y mantenimiento contará con un puente grúa de 20 ton-f.
- Túneles de conducción: Los cuales van desde cada toma hacia la torre de alimentación y un único tramo desde la torre de alimentación hasta la caseta de operación.
- Estructura de Derivación: Se encuentra ubicada a la salida del túnel de conducción, a partir de ella se deriva el flujo hacia la línea de conducción que conducirá el recurso hídrico al área de beneficio.

Así mismo, comprende el mejoramiento y construcción de vías de acceso tanto para la construcción y operación de la infraestructura.

B. Línea de Conducción

Comprende la construcción de una línea de conducción a presión con una longitud de 33,51 km, con tubería PVC - O con diámetro entre 450 mm y 1000 mm. La línea de conducción contempla las siguientes obras de arte: obras de encauzamiento y protección en el cauce de río, cruces de río, cruces de canales, cruces de vías, cruces de quebradas. Así mismo, para su operación, contempla 03 cámaras de derivación, 16 cámaras de purga, 17 cámaras de aire.

Reservorios de almacenamiento y regulación.- Con la finalidad de tener un mejor manejo del agua a nivel de parcela, se ha sectorizado las 2486,00 ha de ampliación de frontera agrícola en 04 bloques de riego, que serán regados con aguas de embalse del río Sama. Cada uno de los bloques de riego poseen sistemas independientes y los sub componentes de estos son: 04 reservorios de geomembrana HDPE de espesor 1,50 mm para cada bloque de riego y con capacidades que varían entre, 10874, 8364, 8364 y 4178 m³, 01 estructura de concreto de salida y limpia con compuertas con mecanismo de izaje (ubicado en el interior del reservorio para

cada bloque de riego), los cabezales de filtrado se han proyectado en la cabecera de cada parcela de riego por temas de topografía y otras obras menores como: Tubería de salida y limpia de HDPE, vertedero de demasías, canal de ingreso de concreto y tuberías de ingreso de agua a los reservorios y canales de concreto de limpia.

Los reservorios son estructuras hidráulicas de almacenamiento de agua, las cuales estarán expuestas a sollicitaciones de la presión, empuje hidrostático y empuje activo de la tierra, es por ello que se plantea su construcción con revestimiento de geomembrana HDPE en la corona, taludes y piso fondo de los reservorios

La función de los reservorios es la de regular la oferta de agua y servir de cámara de carga al sistema de distribución, siendo la disponibilidad de agua del proyecto de tipo resumen de caudales de ingreso a cada reservorio según la demanda el mes crítico para módulo de riego 24 horas y volumen neto de almacenamiento de cada uno:

C. Sistema de riego

El área de irrigación comprende un área de 2486 ha, la cual cuenta con 53 Cabezales de riego que estará ubicado a una determinada altura de los sectores de riego para que el sistema pueda filtrar en forma automática del cual ingresa una tubería de 500 mm, 400 mm, y otros diámetros de C-7,5 y de cada filtro salen agua limpia por los acoples de 110 mm a una tubería colector de salida de 160 mm, y se conectan hasta la válvula principal para regular la presión, a partir del cual se conducirá el agua hacia la salida del sistema, también contiene válvulas de control y regulación, accesorios y otros, los cuales deben estar debidamente protegidos por una caseta de protección de concreto dentro del área a irrigar.

El filtrado en cada sector de riego está constituido por filtros de grava o arena de una batería de 4 cuerpos del cual cada cuerpo filtra 25,00 m³/h., haciendo un total de 100 m³/h., y siendo el máximo caudal a regar por cada filtro de 22,50 m³/h., y un total de 90 m³/h., para módulo de 50 hectáreas de riego, equipada con filtros de grava o arena, con retrolavado automático especiales para las condiciones de trabajo planteadas

2.2. Determinación del caudal ecológico

Uno de los impactos ambientales inherentes principalmente a la construcción de la represa corresponde a la modificatoria del caudal de agua en el río Sama; por ello resulta primordial la

determinación de la cantidad de agua mínima que se debe mantener en la cuenca para no generar impactos sobre los diferentes componentes bióticos y abióticos de la misma, a esta cantidad mínima de agua se le conoce con el nombre de caudal ecológico; en la presente investigación se ha calculado el mencionado caudal ecológico utilizando para ello la data histórica de caudales obtenidos a partir de la estación de Coruca, que corresponde a una estación gestionada por el Gobierno Regional de Tacna; esta estación se ubica a los 17° 37' 33,00" S latitud sur y los 70° 27' 2,18" O longitud oeste; además de ello se han tomado en cuenta lecturas temporales en el puente de Tomasiri ubicado en los 17° 50' 31,00" S latitud sur y los 70° 31' 13,11" O longitud oeste; luego de determinar los caudales promedios mensuales se extrae el promedio anual histórico y de acuerdo a la descripción del método hidrológico hidrográfico (Tharme, 2003; O'Brien et al., 2018; Kuriqi, 2019; Shinozaki y Shirakawa, 2021), establecido por la normativa Peruana que corresponde a "Lineamientos generales para determinar caudales ecológicos" aprobada por Resolución Jefatural N° 118-2019-ANA se fija como el 10 al 15 % del promedio histórico.

2.3. Identificación de servicios ambientales afectados por el caudal ecológico

Los servicios ambientales son los beneficios económicos, sociales y ambientales directos e indirectos, que las personas reciben del buen funcionamiento de los ecosistemas. Estos incluyen la regulación del agua en los embalses, la conservación de la biodiversidad, el secuestro de carbono, la belleza del paisaje, la formación de suelo y la provisión de recursos genéticos (Ley N° 30215, Ley de Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos) (MINAM, 2015). Según el reporte del Millenium Ecosystem Assessment, los servicios ecosistémicos se agrupan en cuatro tipos, como se describe a continuación:

A. Servicios de provisión

Son beneficios derivados de los bienes y servicios que la población percibe directamente del ecosistema, como agua dulce, alimentos, materia prima, etc.

B. Servicios de regulación

Estos beneficios se derivan de la regulación de los procesos de los ecosistemas, como la regulación de la calidad del aire, la regulación del clima, la regulación de la erosión, etc.

C. Servicios culturales

Estos beneficios son intangibles, que las poblaciones obtienen de los ecosistemas, como la belleza paisajística, la inspiración para la cultura, el arte y diseño, la recreación y el turismo, las experiencias espirituales y la información para desarrollar el conocimiento.

D. Servicios de soporte

Incluye los servicios prescindibles para la producción de otros servicios ecosistémicos, como la formación del suelo, el ciclo de nutrientes.

Toda la metodología expuesta fue tomada de la guía de valoración económica del patrimonio natural (MINAM, 2015).

A través del análisis del entorno de la zona afectada del río Sama se procedió a identificar los servicios ambientales modificados y la agrupación en los servicios generales que se describieron anteriormente.

Tabla 9

Servicios ecosistémicos identificados entorno de la zona afectada del río Sama

Servicios de provisión	<ul style="list-style-type: none"> - Agua dulce. - Suelos cultivables. - Madera. - Plantas de uso medicinal.
Servicios de regulación	<ul style="list-style-type: none"> - Clima local y de calidad del aire. - Secuestro y almacenamiento de carbono. - Moderación de eventos extremos. - Prevención de erosión y mantenimiento de fertilidad del suelo. - Polinización. - Control biológico.
Servicios culturales	<ul style="list-style-type: none"> - Restos arqueológicos. - Templos religiosos. - Turismo.
Servicios de soporte	<ul style="list-style-type: none"> - Hábitats para especies. - Mantenimiento de la diversidad genética.

2.3.1. Evaluación de la composición de biomasa total en la cuenca el río Sama

La metodología fue desarrollada de acuerdo a la investigación de Arévalo et al. (2003) el cual consistió en la aplicación de ecuaciones alométricas para el caso de árboles y recolección de muestras del sotobosque así como de hojarascas.

Se consideraron seis parcelas de 1 ha y 3 tres transectos en cada parcela dentro del área de embalse. Las parcelas se ubicaron sobre el cauce del río Sama y los transectos fueron señalados sobre el monte ribereño a ambos lados del cauce donde existiera vegetación oriunda de la zona evitando los sembríos procedentes de otros lugares.

A. Materiales y equipo

a.1. Materiales

- Wincha
- Tijera de podar
- Rafia plana
- Bolsas plásticas
- Bolsas de papel
- Libreta de campo
- Materiales de oficina

a.2. Equipos

- Equipo fotográfico
- 1 navegador GPS marca Garmin 76
- 1 estufa con termostato
- 1 balanza de precisión
- Equipo de cómputo

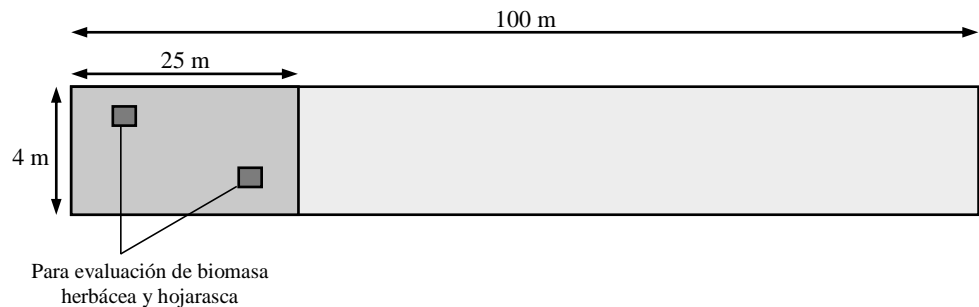
B. Evaluación de la biomasa vegetal

b.1. Biomasa arbórea viva

Se consideró a toda la biomasa que involucra troncos, ramas y hojas de la vegetación entorno al cauce del río Sama, de diámetros mayores a 2,5 cm. Para el desarrollo de esta evaluación se trazaron transectos de 4 m x 25 m como se observa en la figura 14, considerando vegetación de DAP a partir de 2,5 cm a 30 cm.

Figura 14

Diseño de transectos para evaluación de diferentes componentes de la biomasa vegetal



b.2. Biomasa arbustiva y herbácea

La biomasa arbustiva (BAH) y herbácea (Bh) es la que se encuentra sobre el suelo vegetativo con diámetros menores a 2,5 cm, también son consideradas las gramíneas y otras hierbas. Para este caso se realizó un muestreo directo en tres cuadrantes con dimensiones de 1 m x 1 m distribuidos al azar dentro de los transectos de 4 m x 25 m, realizando el corte de la vegetación a nivel del suelo y las que fueron colocadas en bolsas de papel con la correspondiente codificación a cada transecto y repetición.

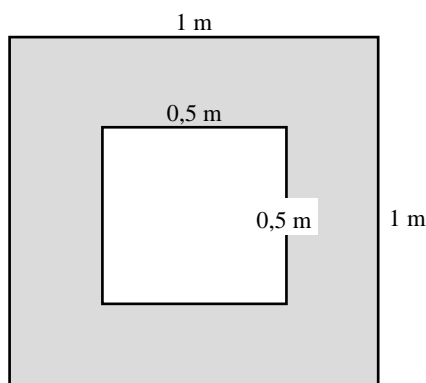
Dichas muestras, fueron destinadas al laboratorio para su respectiva evaluación, registrándose el peso fresco total de la muestra y al igual que a las submuestras realizadas del mismo, posteriormente fueron colocadas en una estufa de aire caliente a 75 °C por 24 h hasta conseguir el peso seco constante de la muestra.

b.3. Biomasa de la hojarasca (Bh)

Se determinó de acuerdo a la cantidad de hojarasca, ramas y ramillas en cuadrantes de 0,5 m x 0,5 m colocados dentro de las muestras de 1 m x 1 m, como se observa en la figura 15. Se logró coleccionar la hojarasca existente en el área y colocadas en bolsas de papel debidamente codificado de acuerdo a cada transecto y repetición, las que posteriormente fueron analizadas en el laboratorio. Donde se pudo registrar el peso fresco total por 0,25 m², de las cuales se dividió en sub muestras registrando su peso fresco y posterior secado dentro de una estufa a 75 °C por 24 h, para obtener luego el peso seco constante de la muestra.

Figura 15

Cuadrantes de 1 m x 1 m para material herbáceo y arbustivo, y cuadrantes interiores de 0,5 m x 0,5 m para hojarasca



C. Cálculos y formulas

c.1. Cálculos de la biomasa vegetal total

c.1.1. Biomasa arbórea viva (kg/árbol)

Se realizó el cálculo de biomasa de cada árbol vivo hallado en la zona de estudio, empleando el siguiente modelo:

$$BA = 0,1184(DAP)^{2,53}$$

Donde: BA = biomasa árboles vivos

$0,1184$ = constante

DAP = diámetro a la altura del pecho (cm)

$2,53$ = constante

Biomasa arbórea viva (t/ha)

Para el cálculo de la biomasa por hectárea se sumaron las biomásas de los árboles medidos y registrados (BTAV) dentro de la parcela de 4 m x 25 m es decir:

$$BAVT(t/ha) = BTAV \times 0,1$$

Donde: $BAVT$ = biomasa árboles vivos en t/ha

$BTAV$ = biomasa total en la parcela de 4 m x 25 m

$0,1$ = factor de conversión cuando la parcela es de 4 m x 25 m

c.1.2. Cálculo de la biomasa arbustiva y herbácea (t/ha)

Para estimar esta biomasa en t/ha se utilizó la siguiente ecuación:

$$BAH(t/ha) = \left(\left(\frac{PSM}{PFM} \right) \times PFT \right) \times 0,01$$

Donde: BAH = biomasa arbustiva y herbácea, materia seca

PSM = peso seco de la muestra colectada

PFM = peso fresco de la muestra colectada

PFT = peso fresco total por metro cuadrado

$0,01$ = factor de conversión

c.1.3. Cálculo de la biomasa de hojarasca (t/ha)

Para estimar esta biomasa en t/ha debe utilizó la siguiente ecuación:

$$Bh(t/ha) = \left(\left(\frac{PSM}{PFM} \right) \times PFT \right) \times 0,04$$

Donde: Bh = biomasa de la hojarasca, materia seca

PSM = peso seco de la muestra colectada

PFM = peso fresco de la muestra colectada

PFT = peso fresco total por metro cuadrado

0,04 = factor de conversión.

c.2. Cálculo de la biomasa vegetal total (t/ha)

$$BVT(t/ha) = (BAVT + BAH + Bh)$$

Donde: BVT = biomasa vegetal total

$BAVT$ = biomasa total árboles vivos

BAH = biomasa arbustiva y herbácea

Bh = biomasa de la hojarasca

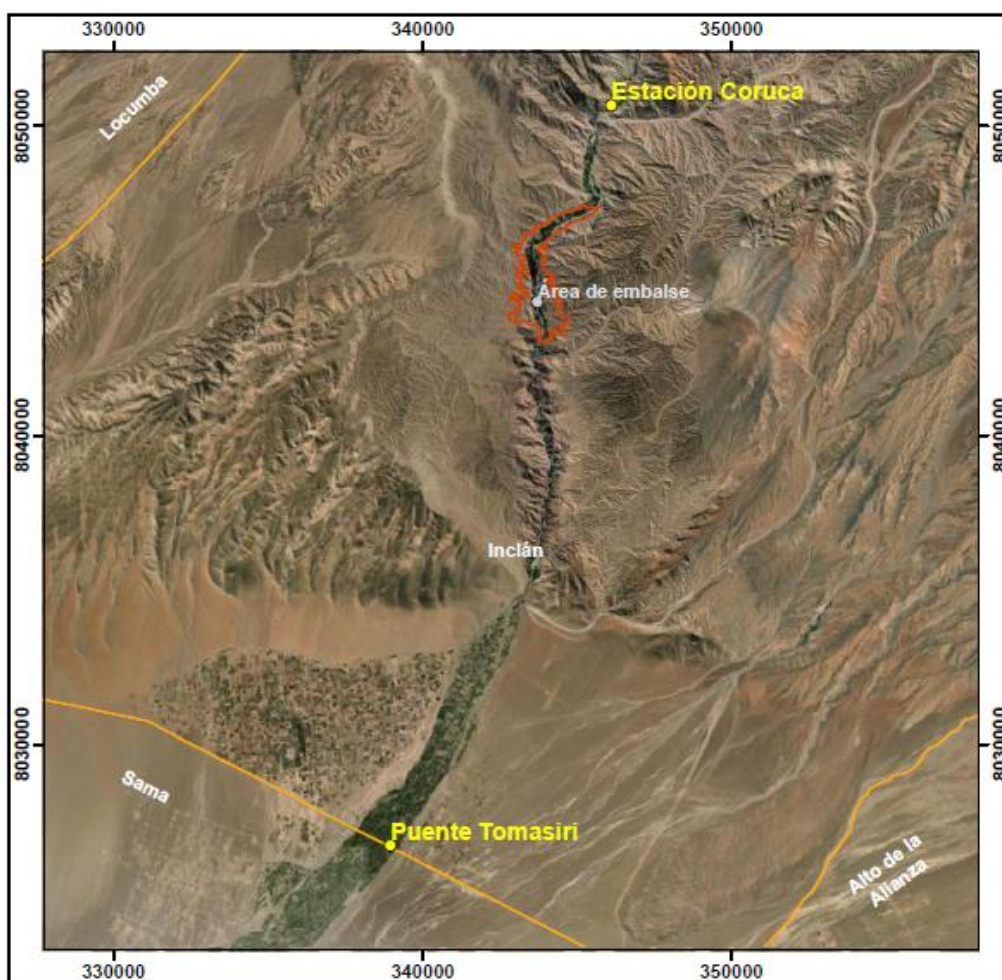
CAPÍTULO III RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Respecto al caudal ecológico

Para la determinación y el respectivo análisis del caudal ecológico se ha considerado la información de la estación Hidrológica de Coruca en el rio Sama ubicada a los $17^{\circ} 37' 33''$ S latitud sur y los $70^{\circ} 27' 2,18''$ O longitud oeste; además de ello se han realizado lecturas temporales en el puente de Tomasiri ubicado en los $17^{\circ} 50' 31''$ S latitud sur y los $70^{\circ} 31' 13,11''$ O longitud oeste; en la siguiente figura se observa la ubicación de los puntos de monitoreo considerados para el caudal ecológico.

Figura 16

Ubicación de las estaciones de monitoreo de caudal consideradas



3.1.1. Datos de la estación de Coruca

La estación de Coruca corresponde a una estación limnimétrica del Gobierno Regional de Tacna y que, como se muestra en los datos de la siguiente tabla, su funcionamiento no fue continuo hasta el año 2009, donde ya empieza a tener registros continuos.

Tabla 10

Caudales medios mensuales del rio Sama en la Estación Coruca (m³/s)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL	PROM	D.STD
1995				0.8	0.71	0.83	0.8	0.73	0.68	0.61	0.56	0.52	6.25	0.69	0.11
1996	0.63	2.31	1.78	0.83	0.92	0.82	0.84	0.68	0.55	0.6	0.65	0.65	11.27	0.94	0.54
1997	11.04	15.22	7.49	1.79	1.54								37.09	7.42	5.92
1998													0	0	0
1999													0	0	0
2000													0	0	0
2001													0	0	0
2002													0	0	0
2003													0	0	0
2004													0	0	0
2005													0	0	0
2006													0	0	0
2007													0	0	0
2008													0	0	0
2009	1.5	7.84	4.7	0.99	1.04	1.13	1.1	0.9	0.79	0.75	0.76	0.77	22.26	1.86	2.18
2010	0.94	2.26	1.38	0.77	0.82	0.85	0.85	0.85	0.7	0.61	0.54		10.55	0.96	0.48
2011	3.22	10.43	2.09	1.38	1.15	1.16							19.42	3.24	3.61
2012	10.35	22.93	9.33	4.49	2.53	2.15	1.88	1.33	1.11	1.17	1.13	3.25	61.65	5.14	6.42
2013	8.17	9.41	13.82	1.83	1.9	1.99	1.49	1.19	0.97	1.03	1.07	1.65	44.51	3.71	4.28
2014	4.22	1.25	1.43	1.59	1.53	1.49	1.45	1.24	0.94	0.84	0.81	0.79	17.58	1.47	0.92
2015	1.89	10.51	16.2	6.06	2.06	1.38	1.38	1.13	0.96	0.99	1	0.96	44.52	3.71	4.87
2016	0.97	8.26	2.29	1.51	0.98	1.1	1.08	0.92	0.91	0.87	0.81	0.95	20.63	1.72	2.1
2017	6.49	5.03	9.88	2.82	1.67	1.62	1.51	1.1	0.99	0.98	0.94	1.21	34.22	2.85	2.84
2018	3.55	6.36	4.61	1.7	1.37	1.65	1.56	1.29	1.1	1.07	0.86	0.94	26.04	2.17	1.74
2019	5.15	20.13	5.55	1.73	1.31	1.43	1.37	1.22					37.89	4.74	6.47
PROM	4.47	9.38	6.2	2.02	1.39	1.35	1.28	1.05	0.88	0.86	0.83	1.17	2.57	2.57	--
D.STD	3.58	6.67	4.88	1.51	0.52	0.43	0.34	0.22	0.18	0.2	0.2	0.8	2.2	--	--
MAX	11.04	22.93	16.2	6.06	2.53	2.15	1.88	1.33	1.11	1.17	1.13	3.25	61.65	22.93	--
MIN	0.63	1.25	1.38	0.77	0.71	0.82	0.8	0.68	0.55	0.6	0.54	0.52	0	0.52	--

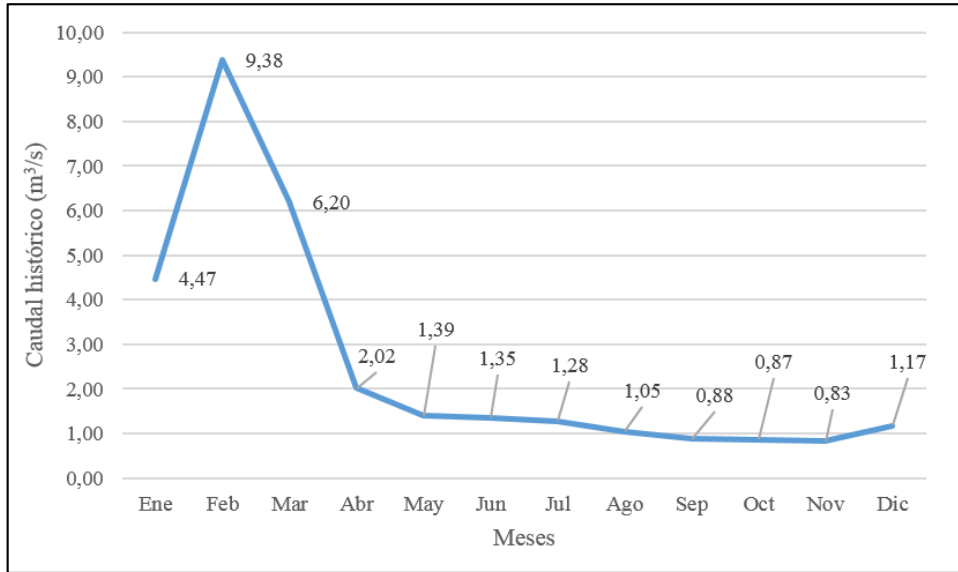
Fuente: Gobierno Regional de Tacna (2020)

En la tabla 10 se muestra los caudales medios mensuales tomados en la estación de Coruca para el rio Sama, esta estación no realizó registros desde el año 1998 hasta el 2008, siendo a partir de este año ya registros continuos hasta la fecha, salvo el caso del año 2011 en el

cual no se realizó registro por ciertos meses; se debe hacer notar que estos son los únicos datos históricos de caudales para el río Sama a través de una estación permanente, por lo que, y según se refiere a diversa literatura, esta tiene que ser considerada como la base fundamental para establecer el denominado caudal ecológico.

Figura 17

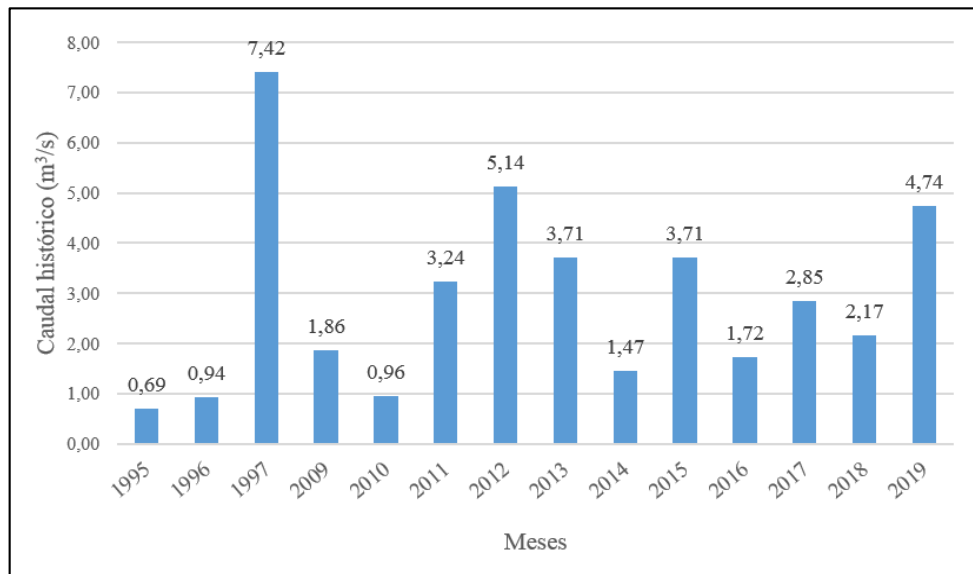
Caudales promedio históricos mensuales para el río Sama estación de Coruca.



En la figura 17 se observan los caudales promedios históricos para el río Sama tomados en la estación de Coruca; en el análisis de los caudales se puede establecer claramente dos etapas bien definidas, la que se muestra del mes de enero a marzo, que incluye los valores más altos de caudal, y los de abril a diciembre donde se mantienen valores bajos más o menos estables.

Figura 18

Caudales promedio históricos anuales para el río Sama estación de Coruca



En la figura 18 se muestra los caudales promedio históricos anuales para el río Sama tomados en la estación de Coruca, considerando sólo los años en los cuales existe registro de los mencionados caudales; se observa que el año con el caudal histórico más alto corresponde el año de 1997 con 7,417 m³/s, siendo el más bajo el del año de 1995 con 0,694 m³/s; es notoria la variación que existe entre el caudal promedio del año 1996 que corresponde a 0,939 m³/s, y el siguiente año, 1997 con el caudal histórico más alto, lo cual permitiría sospechar el hecho de que en este año se generaría algún tipo de evento extraordinario que provocó ese caudal.

De acuerdo a Tharme, (2003); O'Brien et al., (2018); Kuriqi (2019b) Shinozaki y Shirakawa (2021), entre otros; y además la normativa Peruana que corresponde a “Lineamientos generales para determinar caudales ecológicos” aprobada por Resolución Jefatural N° 118-2019-ANA; para la determinación del caudal ecológico por el método hidráulico se debe considerar los caudales históricos de los últimos 10 a 20 años dependiendo de la data histórica con la que se cuente; de estos valores se debe obtener el promedio anual histórico que para el presente caso considerando los datos del río Sama según la estación de Coruca correspondería a 2,57 m³/s de caudal promedio.

3.1.2. Datos de puente Tomasiri

Se debe mencionar que el Puente Tomasiri no corresponde a una estación de monitoreo permanente de caudal o de ningún otro parámetro, lo que si se considera es que el punto es una referencia para realizar mediciones con equipos portátiles, para el presente análisis se consideran estos datos para una observación referencial respecto a cómo se vería representado el caudal ecológico en este punto del río Sama.

Tabla 11

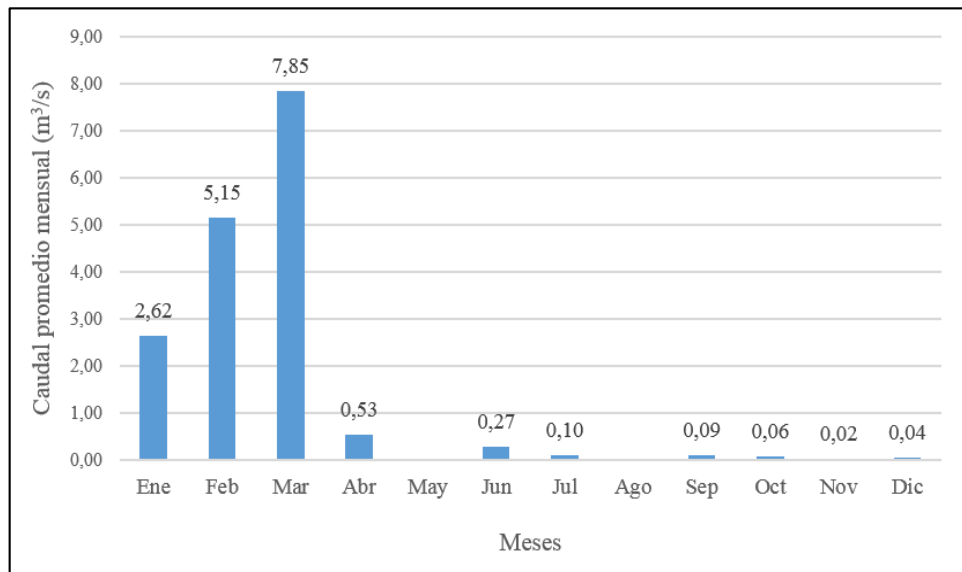
Caudales medios mensuales del río Sama en el Puente Tomasiri (m³/s)

Años	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2005						0,2	0,1		0,09	0,07		
2006	2,5	5,82	4,19			0,34						
2013										0,05	0,02	0,04
2015		9,25	11,5	0,53								
2017	2,73											
2018		0,39										
Promedio mensual	2,615	5,1533	7,845	0,53		0,27	0,1		0,09	0,06	0,02	0,04
Mínima	0,02											
Promedio	2,75											
Máxima	11,5											

En la tabla 11 se muestran los datos de caudales medios mensuales del río Sama tomados por equipos portátiles a la altura del Puente Tomasiri; como se observa existe una gran irregularidad respecto a la información mensual, ya que existen años en los que se consideran determinados meses y otros años en los que estos mismos meses no están considerados; sin embargo, al desarrollar los valores promedio se observan que los únicos meses que carecen de datos corresponden al mes de mayo y el mes de agosto.

Figura 19

Caudales promedio mensuales para el río Sama Puente Tomasiri



En la figura 19 se muestra los caudales promedio mensual considerados para el Puente Tomasiri, se observa que el mayor caudal corresponde al mes de marzo con $7,85 \text{ m}^3/\text{s}$ y el de menor caudal reportado corresponde al mes de noviembre con $0,02 \text{ m}^3/\text{s}$; existe cierta coincidencia con lo observado en la estación de Coruca, respecto a los períodos, es decir, el período con mayor caudal corresponde al lapso de enero a marzo, y el de menor caudal de abril a diciembre.

3.1.3. Determinación del caudal ecológico

De acuerdo estudio hidrológico del proyecto “Mejoramiento del servicio de provisión de agua para riego mediante sistema de represamiento en la cuenca del río Sama” (Gobierno Regional de Tacna, 2020), se refiere al cálculo del caudal ecológico basado en el método hidrológico hidrográfico, el cual considera entre el 10 al 15 % del caudal promedio histórico correspondiendo a un caudal ecológico de $0,386 \text{ m}^3/\text{s}$.

Respecto al entorno legal se debe mencionar lo siguiente: que mediante Resolución Jefatural N° 118-2019-ANA se aprueban los “Lineamientos generales para determinar caudales ecológicos”, y en el que claramente se establece la diferencia de la metodología de cálculo de caudal ecológico para proyectos estatales y privados; siendo para el caso de los estatales el requerimiento del método hidrológico - hidrográfico, como el que se menciona para el presente proyecto; mientras que para proyectos privados se requiere los

métodos holísticos, que incluyen factores de análisis como por ejemplo la preferencia de hábitat de las especies indicadoras que habitan en el río a ser intervenido. Por otro lado, se indica en el mencionado documento que se debe hacer el cálculo de caudal ecológico a nivel mensual, sin embargo, por definición el caudal ecológico es aquel caudal mínimo esperado para sostener la biodiversidad en un cuerpo de agua ribereño, el cual se define como un valor único (Tharme, 2003; O'Brien et al., 2018; Kuriqi, 2019b; Shinozaki y Shirakawa, 2021).

3.2. Servicios ambientales que serían afectados por el caudal ecológico

Dentro de los servicios ambientales identificados que podrían ser afectados por la aplicación del caudal ecológico en la cuenca del río Sama se establecen fundamentalmente dos; el primero de ellos corresponde a la calidad de agua, que es un servicio ambiental de abastecimiento y que responde directamente a la razón de ser de la propuesta, ya que el manejo del agua es fundamentalmente dirigido a la satisfacción de necesidades humanas tanto para el consumo poblacional como para el uso agrícola. El segundo servicio ambiental que sería afectado corresponde a la biodiversidad, este se ubica dentro de los servicios ambientales de regulación y claramente se subdivide en la biodiversidad del monte ribereño y la biodiversidad de especies hidrobiológicas de importancia.

3.2.1. Calidad de agua

Para el análisis del servicio ambiental de calidad de agua, se consideran los valores iniciales para lo cual se realizan los análisis correspondientes considerando las estaciones fijadas por la Autoridad Nacional del Agua (ANA), en su proceso de monitoreo de calidad de agua participativo; las estaciones consideradas se denomina RSama3 cuya ubicación geográfica es $17^{\circ} 38' 0,15''$ S y $70^{\circ} 27' 16,85''$ O; se debe hacer notar que esta estación de monitoreo de calidad de agua corresponde a la estación de Coruca donde se realiza los monitoreos de caudales; y la segunda estación considerada se denomina RSama5 que se ubica geográficamente entre los $17^{\circ} 55' 56,18''$ S y $70^{\circ} 36' 8,10''$ O, esta segunda estación se ubica aguas abajo del puente de Tomasiri.

Figura 20

Ubicación de los puntos de monitoreo de calidad de agua

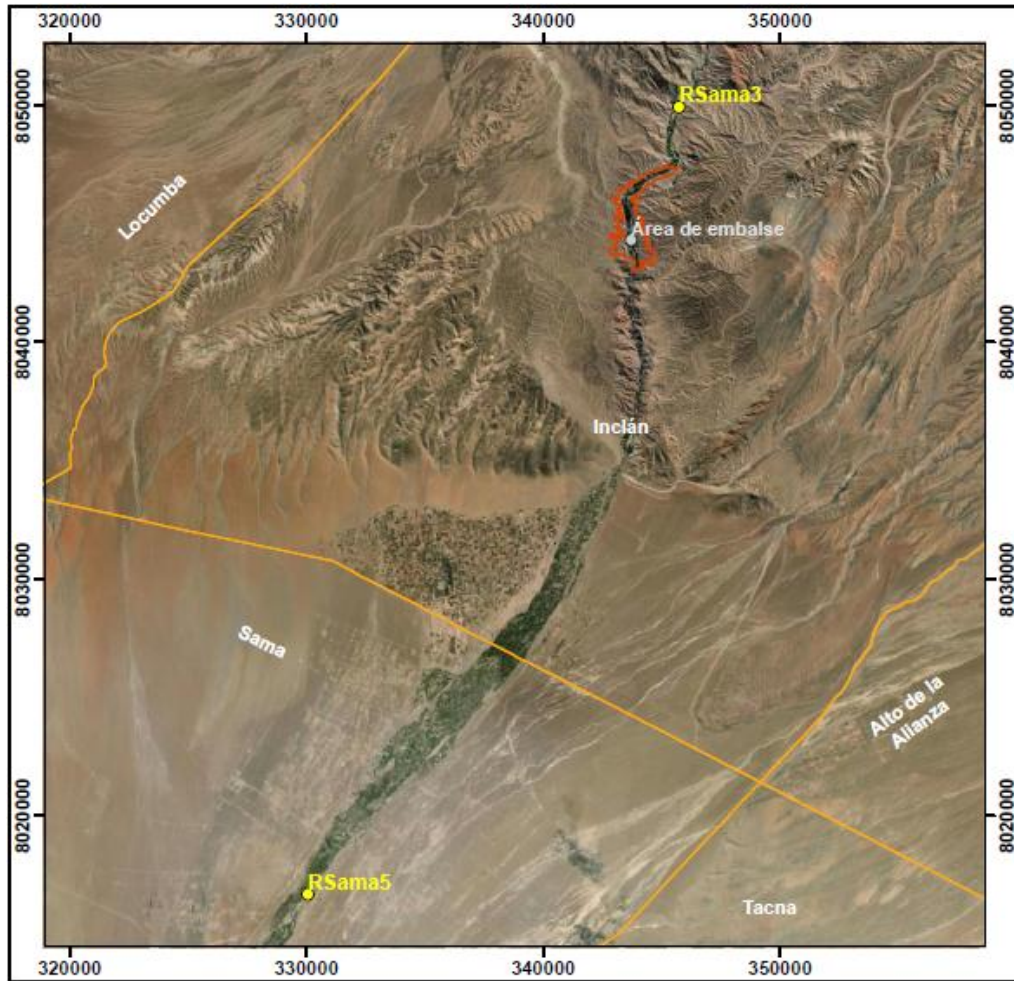


Tabla 12

Resultados los monitoreos fisicoquímicos y microbiológicos en el río Sama

Parámetros	Unidad	ECA Cat.3-D1	ECA Cat.3-D2	RSama3	RSama5
Físicos - Químicos					
Aceites y Grasas	mg/L	≤5	≤10	< 1	< 1
Amoniaco-N	mg/L	----	----	----	----
Bicarbonatos	mg/L	≤518	----	172,1	226,7
Cianuro Libre	mg/L	----	----	----	----
Cianuro WAD	mg/L	≤0,1	≤0,1	< 0,001	< 0,001
Cloruros	mg/L	≤500	----	311,2	986,6
Conductividad	(μS/cm)	≤2500	≤5000	2160	4560
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	≤15	≤15	< 2	< 2
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	≤40	≤40	12	14
Fenoles	mg/L	≤0,002	≤0,01	< 0,001	< 0,001
Fósforo Total	mg/L	----	----	0,341	0,085
Nitratos (NO3-)	mg/L	----	----	< 0,009	< 0,009

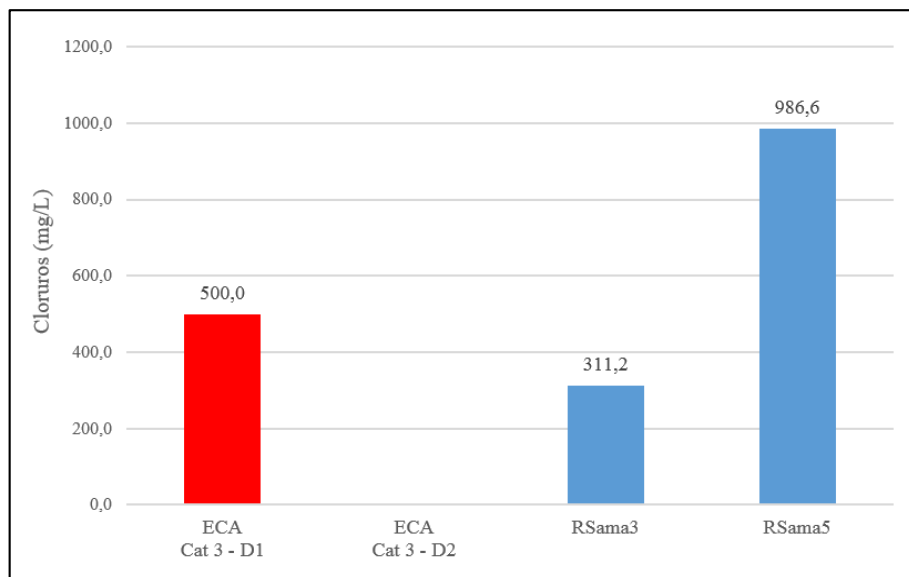
Nitratos (NO ₃ -N) + Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	<=100	<=100	< 0,006	< 0,006
Nitratos-N	mg/L	----	----	< 0,002	< 0,002
Nitritos (NO ₂ -)	mg/L	----	----	< 0,015	< 0,015
Parámetros	Unidad	ECA Cat.3-D1	ECA Cat.3-D2	RSama3	RSama5
Nitritos-N	mg/L	<=10	<=10	< 0,004	< 0,004
Nitrógeno Total	mg/L	----	----	0,125	0,109
Oxígeno Disuelto	mg/L	= 4	= 5	9,78	10,39
pH	pH	6,5 – 8,5	6,5 – 8,4	8,33	8,01
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	----	----	----	----
Sulfatos	mg/L	<=1000	<=1000	707,9	1778
Sulfuros	mg/L	----	----	----	----
Temperatura	°C	±3	±3	16,3	24,3
Inorgánicos					
Aluminio	mg/L	<=5	<=5	0,246	0,017
Antimonio	mg/L	----	----	0,0089	0,0017
Arsénico	mg/L	<=0,1	<=0,2	0,3827	0,0885
Bario	mg/L	<=0,7	----	0,0438	0,0485
Berilio	mg/L	<=0,1	<=0,1	< 0,0002	< 0,0002
Bismuto	mg/L	----	----	< 0,0002	< 0,0002
Boro	mg/L	<=1	<=5	6,524	17,89
Cadmio	mg/L	<=0,01	<=0,05	< 0,0001	< 0,0001
Calcio	mg/L	----	----	204,9	503,6
Cobalto	mg/L	<=0,05	<=1	0,001	< 0,0002
Cobre	mg/L	<=0,2	<=0,5	0,0134	0,0005
Cromo Total	mg/L	<=0,1	<=1	< 0,0007	< 0,0007
Estaño	mg/L	----	----	< 0,0002	< 0,0002
Estroncio	mg/L	----	----	0,9554	2,607
Hierro	mg/L	<=5	----	0,584	0,174
Litio	mg/L	<=2,5	<=2,5	1,051	2,448
Magnesio	mg/L	----	<=250	38,2	93,61
Manganeso	mg/L	<=0,2	<=0,2	0,1177	0,0488
Mercurio	mg/L	<=0,001	<=0,01	< 0,00005	< 0,00005
Molibdeno	mg/L	----	----	0,0041	0,0069
Níquel	mg/L	<=0,2	<=1	0,0024	< 0,0002
Plata	mg/L	----	----	< 0,00008	< 0,00008
Plomo	mg/L	<=0,05	<=0,05	< 0,0002	< 0,0002
Potasio	mg/L	----	----	26,94	50,83
Selenio	mg/L	<=0,02	<=0,05	< 0,0006	< 0,0006
Silicio	mg/L	----	----	29,6	18,4
Sodio	mg/L	----	----	218,1	597
Talio	mg/L	----	----	< 0,0002	< 0,0002
Titanio	mg/L	----	----	0,003	0,0023
Uranio	mg/L	----	----	0,0008	0,0061
Vanadio	mg/L	----	----	0,0026	0,0023
Zinc	mg/L	<=2	<=24	0,012	< 0,008
Microbiológico y Parasitológicos					
Coliformes Termotolerantes	NMP/100ml	<=1000	<=1000	7,8	1300
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100ml	<=1000	----	2	330
Huevos de Helminthos	Huevo/L	1	----	< 1	< 1

La tabla 12 muestra los resultados de los monitoreos fisicoquímicos y microbiológicos en el río Sama, estos valores se encuentran comparados con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) establecidos por el D.S. 004-2017-MINAM, en la categoría III, donde D1 corresponde a agua para regadío agrícola y D2 corresponde de agua para bebida de ganado; se debe hacer notar que la Autoridad Nacional del Agua, clasifica los diferentes medios de acuerdo a las categorías de cada cual corresponde y las mencionadas son las que corresponden al río Sama.

La toma de muestra se realizó el 21 de agosto del 2019, los valores resaltados en la tabla corresponden a los que superan a los establecidos en el ECA.

Figura 21

Valores de cloruros en las estaciones de monitoreo de calidad de agua en el rio Sama comparados con los ECAs del D.S. 004-2017-MINAN

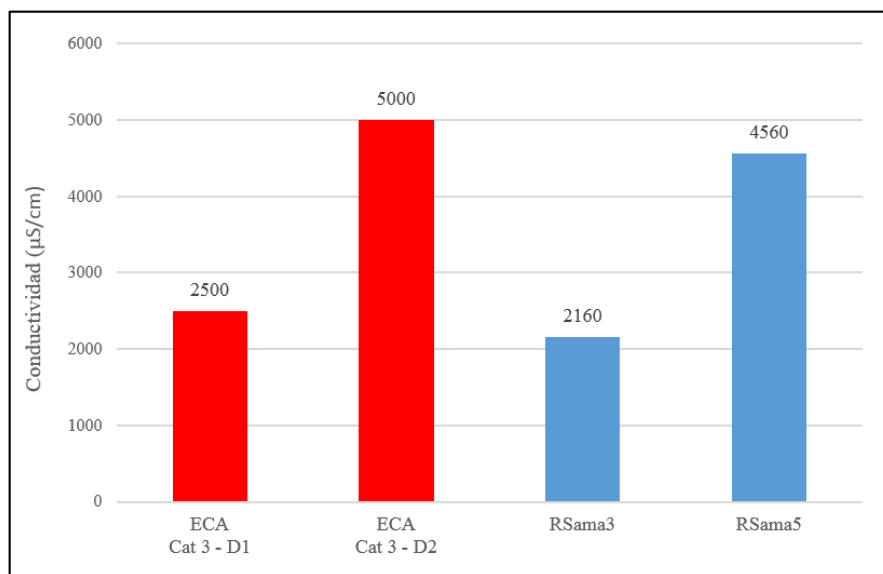


Entendiendo a los cloruros como un parámetro asociado a la presencia de salinidad, es decir a la presencia de cloruro de sodio, se observa en la figura 21 como los valores tomados en RSama5 superan lo establecido en el ECA Cat 3 - D1 que corresponde a agua para cultivos; tomando en consideración la ubicación de los dos puntos de monitoreo se debe entender dos posibilidades, la primera se encuentra asociada al hecho de que existan vertimientos naturales o antropogénicos que estén llevando contenido de sales hacia el río Sama por debajo del punto RSama3, o que los terrenos que atraviesa el curso del río Sama después del punto mencionado son terrenos que tienen alto contenido de cloruro de

sodio; esta última posibilidad es la menos probable debido a la existencia en el tiempo del mencionado río y que habría generado efectos de dilución alcanzando valores bajos de estos cloruros; sea cual fuere el motivo, la reducción del caudal hasta el mínimo de 0,386 m³/s traería como consecuencia el incremento de los valores de cloruro ya que se reduciría el efecto de dilución ante los supuestos vertimientos.

Figura 22

Valores de conductividad en las estaciones de monitoreo de calidad de agua en el río Sama comparados con los ECAs del D.S. 004-2017-MINAN



Los valores observados de conductividad, los mismos que también se encuentran relacionados con la presencia de sales debido a su posibilidad de ionización, se encuentran adecuadamente relacionados con los valores de cloruros; la figura 22 muestra como los valores obtenidos en RSama5 superan el ECA Cat 3 –D1 que corresponde a agua para cultivos agrícolas; se observa el mismo fenómeno al incrementarse el valor sólo para el estación de monitoreo más baja, asentando la teoría de la presencia de vertimientos naturales o antropogénicos.

En este punto es importante considerar que de acuerdo a la escala de Wilcox (Gomez et. al., 2019), el agua del río Sama sin el desarrollo del proyecto del afianzamiento hídrico y básicamente en el punto de monitoreo RSama5, presenta una calidad de agua inadecuada para la agricultura; así el valor reportado es de 4560 µS/cm que convertidos a mmhos/cm corresponden a 4,56 siendo en la escala de la tabla prevista mayor al valor de 3; por otro

lado el valor de conductividad observado en la estación RSama3 correspondería a 2,6 mmhos/cm, lo que la ubica en una calidad dudosa.

Tabla 13

Clasificación del agua para riego según Wilcox.

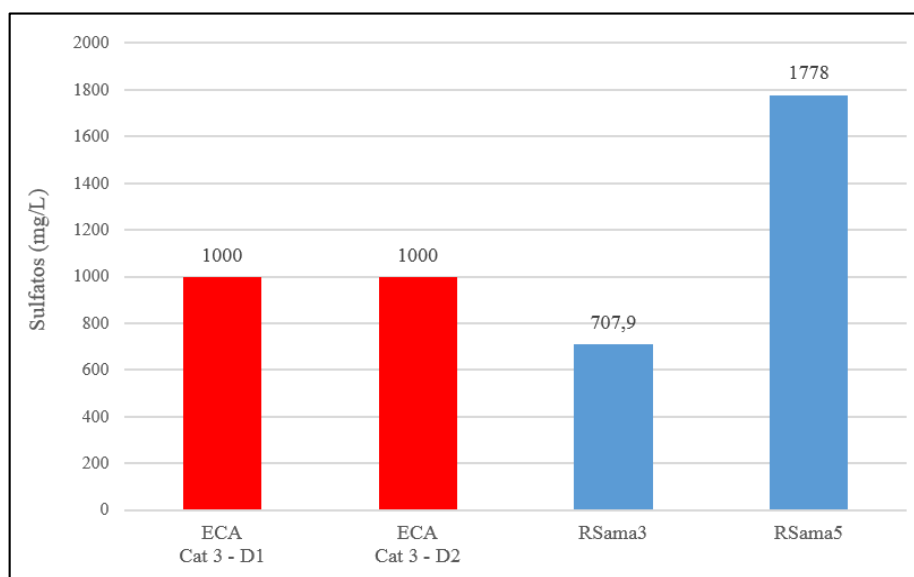
Calidad de Agua	Conductividad Eléctrica (mmhos/cm)
Excelente	< 0,25
Buena	0,25 – 0,75
Permisible	0,75 – 2,00
Dudoso	2,00 – 3,00
Inadecuado	> 3,00

Fuente: González et al., (2019)

Es de entender que el efecto del caudal ecológico es probable que incremente los niveles de conductividad en el agua haciéndolas menos apta para la agricultura.

Figura 23

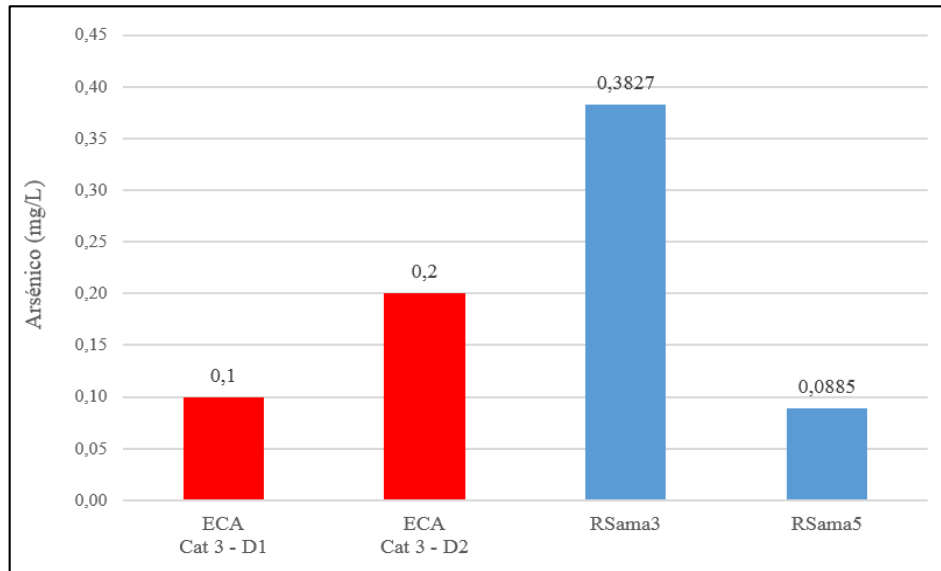
Valores de sulfatos en las estaciones de monitoreo de calidad de agua en el río Sama comparados con los ECAs del D.S. 004-2017-MINAN



Uno de los sillones importantes que considerar cuando se habla de agua para la agricultura es el ion sulfato, en este caso el valor considerado para la estación RSama5 superan los ECAs tanto para cultivo como para bebida de animales, al igual que el caso de los cloruros se entiende que vienen de una fuente adicional a la establecida en el río Sama es decir, a través del ingreso de vertimientos naturales o antropogénicos.

Figura 24

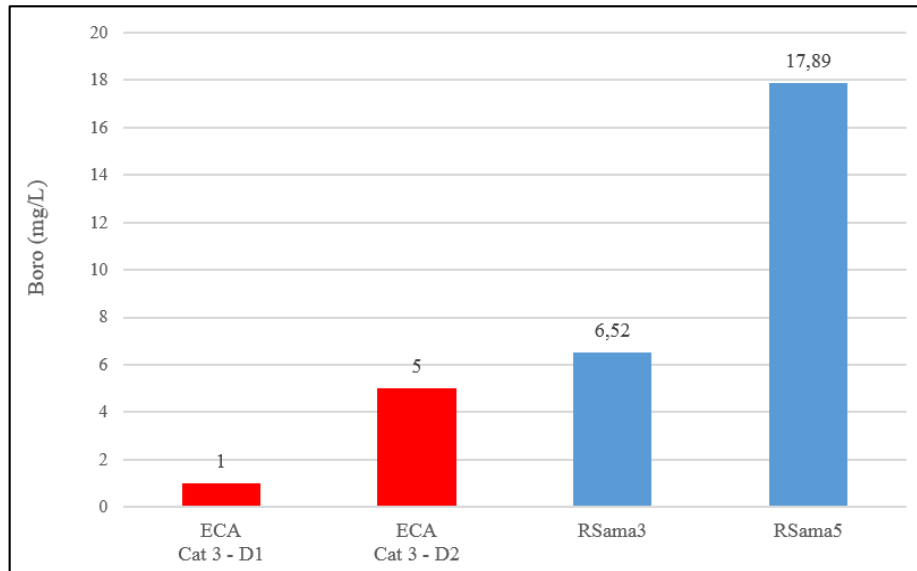
Valores de arsénico en las estaciones de monitoreo de calidad de agua en el río Sama comparados con los ECAs del D.S. 004-2017-MINAM



La figura 24 muestra los valores de arsénico obtenidos en las dos estaciones de monitoreo de calidad de agua, los mismos que están siendo comparados con el ECA establecido en el D.S. 004-2017-MINAM; en este caso el valor de arsénico obtenido para la estación RSama3 supera los valores de ECA tanto para cultivo como para bebida de animales, sin embargo, los valores para la estación RSama5, se encuentran por debajo del mismo. En este caso los vertimientos naturales o antropogénicos estarían generando un efecto de dilución en el contenido de arsénico ya que al no contener estos vertimientos al metaloide aumentan el volumen de agua para la misma cantidad del mismo; en este caso el efecto del caudal ecológico redundaría en la disminución de la concentración de arsénico hacia la zona de la estación RSama5, ya que se traería menor volumen de agua con contenido alto de arsénico para mezclarse con los vertimientos libres del mismo.

Figura 25

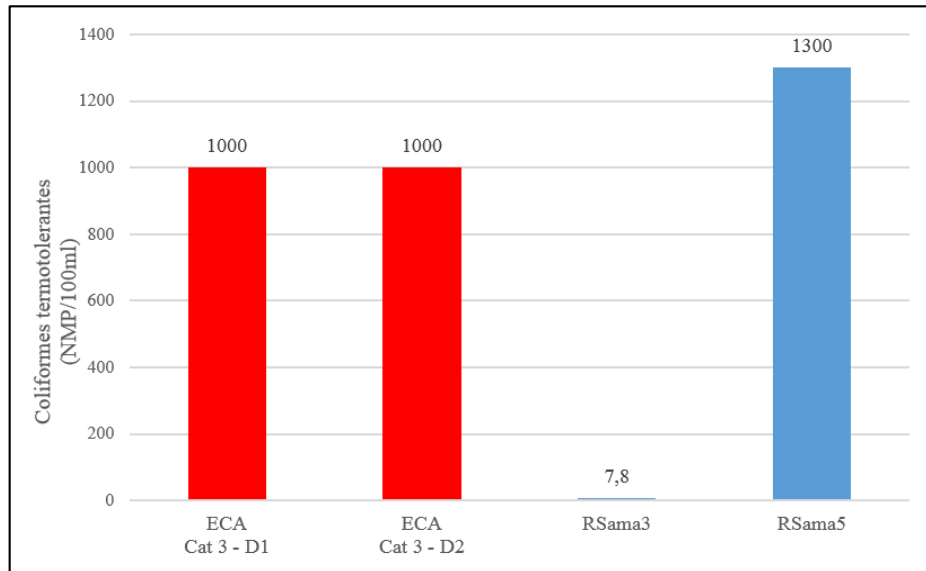
Valores de boro en las estaciones de monitoreo de calidad de agua en el río Sama comparados con los ECAs del D.S. 004-2017-MINAN



La figura 25 muestra los valores de Boro para las estaciones de monitoreo de calidad de agua comparados con los ECAs, se observa que para ambas estaciones los valores de Boro superan a los ECAs, tanto para agricultura como para bebida de animales; sin embargo, se observa que el mayor valor del mismo corresponde a la estación RSama5, se presume por lo tanto que el agua de los vertimientos naturales o antropogénicos también tiene un contenido alto de Boro lo que provoca el incremento de este hacia la estación RSama5. El efecto de la aplicación del caudal ecológico sobre la concentración de Boro prevé un incremento en la misma debido a la disminución del volumen de agua pero se mantendría el volumen ingreso de parte de los vertimientos.

Figura 26

Valores de coliformes termotolerantes en las estaciones de monitoreo de calidad de agua en el río Sama comparados con los ECAs del D.S. 004-2017-MINAN



La figura 26 muestra los valores de coliformes termotolerantes en las estaciones de monitoreo de calidad de agua del río Sama comparados con los ECAs. La presencia de coliformes termotolerantes indica la presencia de contaminación fecal, es decir del vertimiento de aguas residuales de origen antropogénico hacia el cuerpo de agua, como se observa en la figura los valores de coliformes termotolerantes en la estación RSama5 superan los del ECA, sin embargo no lo hacen los de la estación RSama3, esto entre otras cosas confirma la hipótesis de vertimientos de agua en la parte baja de la estación RSama3, ya que es la única forma de explicar cómo aparecen coliformes termotolerantes que no existían en la parte alta del río; el efecto del caudal ecológico es el incremento de estos valores y por lo tanto el incremento de la contaminación fecal de esa porción del río.

3.2.2. Efecto del caudal ecológico sobre la biodiversidad

El efecto fundamental de la aplicación del caudal ecológico se dará sobre el denominado monte ribereño, es decir, sobre la vegetación que se encuentra hacia las orillas de los ríos, esto ocurre como consecuencia fundamental de la disminución del volumen del río y la de la disponibilidad de agua para las raíces de los vegetales que allí se desarrolla (Han et al., 2020).

Para poder entender el efecto del caudal ecológico se necesita conocer la estructura del monte ribereño, la cual se encuentra compuesta básicamente por tres estratos vegetales los cuales corresponden al estrato arbóreo, es decir árboles, el estrato arbustivo que incluye los arbustos, y el estrato herbáceo que corresponde a las hierbas; en muchos casos esta resultan siendo temporales, tanto anuales como bianuales por lo que serían el grupo mucho más sensible a la disminución del caudal como consecuencia de la aplicación del caudal ecológico (Barriga et al., 2019; Janssen et al., 2020; Han et al., 2020).

Se ha considerado la información obtenida a partir de la evaluación ambiental preliminar del proyecto, sin embargo, se ha realizado la verificación de la presencia de algunas especies en campo.

Tabla 14

Especies del estrato arbóreo identificadas en el monte ribereño de la parte baja del río Sama

Nº	Familia	Especie	Nombre Común
1	Fabaceae	<i>Prosopis pallida</i>	Huarango
2	Fabaceae	<i>Parkinsonia aculeata</i>	Palo verde
3	Fabaceae	<i>Vachellia macracantha</i>	Huarango
4	Casuarinaceae	<i>Casuarina cunninghamiana</i>	Casuarina
5	Myrtaceae	<i>Eucalyptus globulus</i>	Eucalipto
6	Myricaceae	<i>Myrica pavonis</i>	Carza
7	Salicaceae	<i>Salix humboldtiana</i>	Sauce
8	Sapindaceae	<i>Sapindus saponaria</i>	Jaboncillo
9	Anacardiaceae	<i>Schinus molle</i>	Molle
10	Asteraceae	<i>Tessaria integrifolia</i>	Pájaro bobo

La tabla 14 muestra las especies del estrato arbóreo (árboles) observados en el monte ribereño de la parte baja del río Sama, corresponden a un total de 10 especies dentro de las cuales destaca *Prosopis pallida* que según el D.S. 043-2006- AG se encuentra en estado de vulnerable, es decir, es conocida como una especie protegida; lo mismo para el caso de *Vachellia macracantha*, que se encuentran como gas y amenazada.

La disminución del caudal de agua en el río, como consecuencia de la aplicación del caudal ecológico podría provocar la reducción en el desarrollo de los especímenes de árboles ubicados en el monte ribereño, más no su desaparición debida sobre todo a la

dimensión en profundidad que presenta sus raíces que les permitirían captar agua así tenga un volumen reducido.

Tabla 15

Especies del estrato arbustivo identificadas en el monte ribereño de la parte baja del río Sama

Nº	Familia	Especie	Nombre Común
1	Poaceae	<i>Arundo donax</i>	Caña común
2	Asteraceae	<i>Baccharis salicifolia</i>	Chilca
3	Asteraceae	<i>Baccharis scandens</i>	Chilca
4	Escalloniaceae	<i>Escallonia salicifolia</i>	Escallonia
5	Fabaceae	<i>Geoffroea decorticans</i>	Chañar
6	Malvaceae	<i>Gossypium barbadense</i>	Algodoncillo
7	Fabaceae	<i>Hoffmannseggia miranda</i>	
8	Asteraceae	<i>Pluchea chingoyo</i>	Chilca
9	Asteraceae	<i>Viguiera peruviana</i>	Codo de fraile

En la tabla 15 se observa las especies del extracto arbustivo (arbustos), identificados para el monte ribereño de la parte baja del río Sama, se observa un total de nueve especies dentro de las cuales destaca *Geoffroea decorticans*, que según el D.S. 043-2006-AG se encuentra en estado de vulnerable.

El efecto que se espera de la aplicación del caudal ecológico sobre las especies arbustivas del monte ribereño es similar a las que se espera en el estrato arbóreo, sin embargo la generación de biomasa podría ser mayor debido a que muchas especies arbustivas son caducifolias es decir que cuando se encuentran en estados de estrés hídrico suelen perder hojas que se convertirían en biomasa para el suelo; por otro lado se debe considerar también que al igual que el estrato arbóreo el desarrollo fenológico de los especímenes será menor debido a la baja cantidad de agua.

Tabla 16

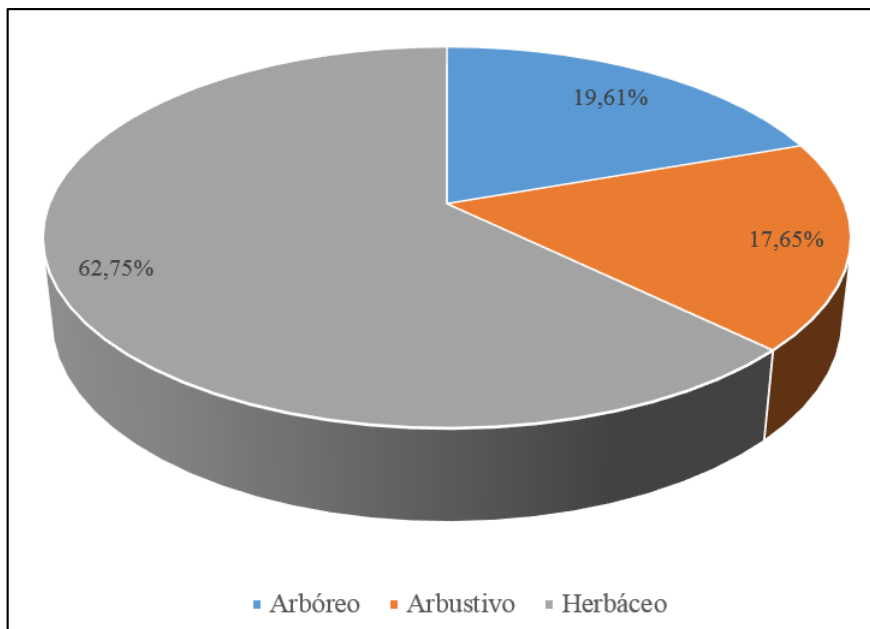
Especies del estrato herbáceo identificadas en el monte ribereño de la parte baja del río Sama

N°	Familia	Especie	Nombre Común
1	Amaranthaceae	<i>Althernantera hamilifolia</i>	Hierba blanca
2	Amaranthaceae	<i>Amaranthus viridis</i>	Bledo verde
3	Asteraceae	<i>Ambrosia peruviana</i>	Altamisa
4	Apiaceae	<i>Apium laciniatum</i>	Culantrillo
5	Papaveraceae	<i>Argemone subfusiformis</i>	Cardo santo
6	Amaranthaceae	<i>Atriplex peruviana</i>	Abanico
7	Asteraceae	<i>Baccharis aff pulchella</i>	Chilca
8	Plantaginaceae	<i>Bacopa monnieri</i>	Verdolaga de puerco
9	Asteraceae	<i>Bidens pilosa</i>	Pega pega
10	Poaceae	<i>Bromus catharticus</i>	Cebadilla
11	Asteraceae	<i>Conyza bonariensis</i>	Vira vira
12	Poaceae	<i>Cortaderia sp.</i>	Cortadera
13	Poaceae	<i>Cynodon dactylon</i>	Gramma común
14	Poaceae	<i>Distichlis spicata</i>	Pasto puna
15	Equisetaceae	<i>Equisetum bogotense</i>	Cola de caballo
16	Equisetaceae	<i>Equisetum giganteum</i>	Cola de caballo
17	Euphorbiaceae	<i>Euphorbia hirta</i>	Hierba de paloma
18	Asteraceae	<i>Grindelia glutinosa</i>	Grindelia
19	Poaceae	<i>Gynerium sagittatum</i>	Caña brava
20	Heliotropiaceae	<i>Heliotropium curassavicum</i>	Hediondilla
21	Fabaceae	<i>Hoffmannseggia prostrata</i>	
22	Poaceae	<i>Leptochloa uninervia</i>	Cola americana
23	Fabaceae	<i>Medicago sativa</i>	Alfalfa
24	Fabaceae	<i>Melilotus albus</i>	Alfilerillo
25	Fabaceae	<i>Melilotus indica</i>	Meliloto
26	Oxalidaceae	<i>Oxalis sp.</i>	Vinagrillo
27	Poaceae	<i>Phragmites australis</i>	Carrizo
28	Verbenaceae	<i>Phyla nodiflora</i>	Maleza partida
29	Verbenaceae	<i>Pitraea cuneato- ovata</i>	Papilla
30	Portulacaceae	<i>Portulaca oleraceae</i>	Verdolaga
31	Typhaceae	<i>Typha angustifolia</i>	Totora
32	Typhaceae	<i>Typha dominguensis</i>	Totora

La tabla 16 muestra las especies del estrato herbáceo (hierbas), identificadas para el monte ribereño en la parte baja del río Sama, se reporta un total de 32 especies de las cuales ninguna tiene estatus de conservación; muchas de las mencionadas especies son anuales o bianuales incluso algunas especies como *Oxalis sp*, son efímeras es decir que se desarrollan por tiempos limitados a uno o dos meses y luego perecen; este es el estrato que sufrirá el mayor impacto por la aplicación del caudal ecológico ya que la reducción del agua provocará la falta de germinación en muchas de las especies reportadas.

Figura 27

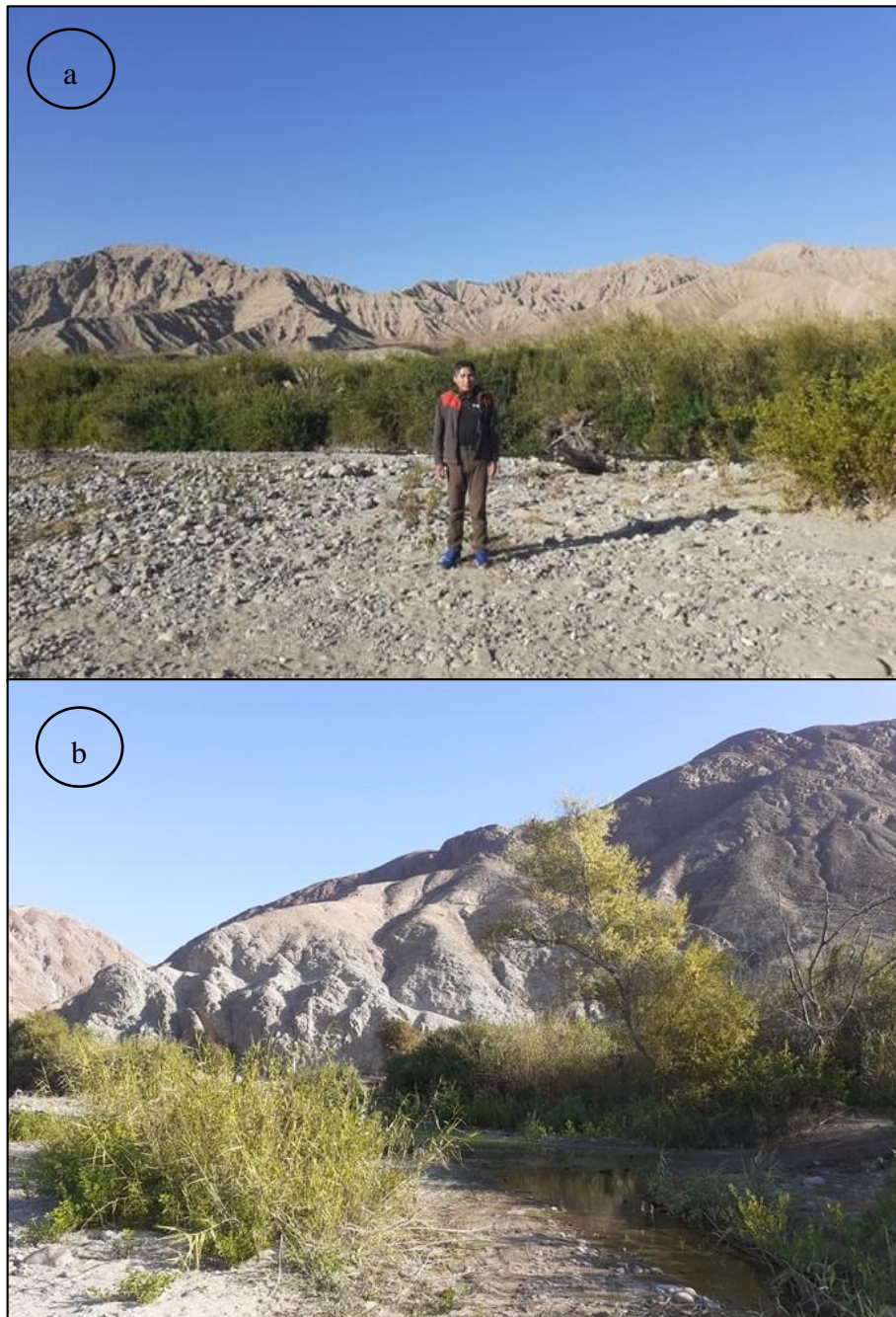
Porcentaje del número de especies por estrato en el monte ribereño de la parte baja del río Sama



Como se observa en la figura 27, el 62,75 % corresponde a especies herbáceas que serán las que van a ser impactadas fuertemente por la aplicación del caudal ecológico en la parte baja del río Sama.

Figura 28

Vistas (a y b) del monte ribereño de la parte baja del río Sama



Otro elemento de la biodiversidad que podría ser afectado por la aplicación del caudal ecológico corresponde al desarrollo de especies hidrobiológicas; se puede hacer referencia a la publicación de Coronel (2007). Titulada “Potencial acuícola de los recursos hídricos continentales de la región Tacna” en el cual se muestra la tabla 17.

Tabla 17*Actitud acuícola de los recursos hídricos de la cuenca del río Sama*

N°	Recurso Hídrico	Aptitud Acuícola	Recurso Hidrobiológico	Actividad Acuícola
1	Río Sama (Coruca)	Buena	Camarón, trucha	Repoblamiento cultivo
2	Río Sama (Tala)	Mediana	Trucha	Repoblamiento cultivo
3	Río Ticalaco	Mediana	Trucha	Repoblamiento cultivo
4	Río Salado	Mediana	Trucha	Repoblamiento cultivo
5	Río Pistala	Baja	Trucha	Repoblamiento cultivo
6	Río Chucatamani	Baja	Trucha	Repoblamiento cultivo
7	Río Tarucachi	Mala	Ninguno	Ninguna

Fuente: Coronel (2007)

La tabla 17 muestra la actitud acuícola de los recursos hídricos de la cuenca del río Sama reportada por Coronel (2007), para lo cual se determinó parámetros como caudal del río, tipología del cauce, determinación de parámetros físicos y químicos y presencia de elementos bióticos como fitoplancton macro invertebrados, micro invertebrados; con ello se estableció una escala la cual establece que el río Sama en el tramo desde la estación de Coruca hacia abajo tiene una buena condición para el desarrollo tanto de camarón como de trucha, en actividades de repoblamiento y cultivo. La aplicación del caudal ecológico disminuía significativamente esta capacidad ya que se perdería uno de los factores importantes que es el espejo de agua que permitiría el desarrollo de estas especies.

3.2.3. Composición de biomasa total en la cuenca el río Sama

El proyecto de afianzamiento hídrico al encontrarse sobre la marcha del río Sama. Este río es la unidad vital para el funcionamiento de la cuenca permitiendo la existencia de seres vivos de la zona. Para Mendoza et al. (2014) un represamiento involucra apropiarse de los bienes materiales naturales de la zona, alterando la biodiversidad vegetal reguladores que sostienen a los ecosistemas. La inundación provocará la pérdida de las diferentes biomasa nativas propias de la zona, entorno de la cuenca del río Sama en Yarascay.

Figura 29

Ubicación de parcelas para evaluación de biomasa vegetal

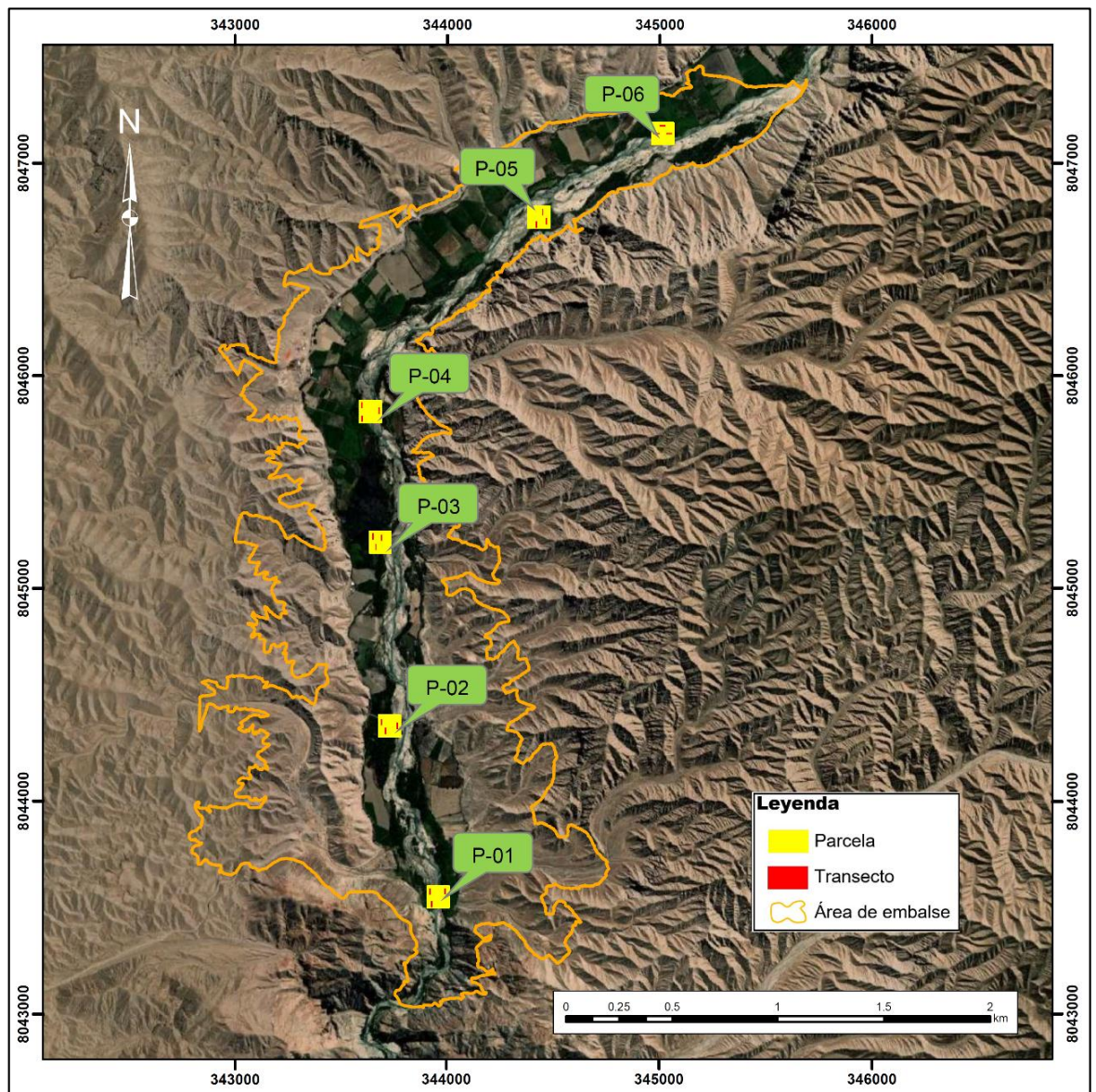


Tabla 18

Coordenadas geográficas UTM del área de evaluación de biomasa vegetal entorno del río Sama dentro del área de embalse

Parcelas	Coordenadas UTM	
	Este	Norte
P-01	343904	8043599
	343904	8043499
	344004	8043499
	344004	8043599
P-02	343661	8044386
	343661	8044486
	343761	8044486
	343761	8044386
P-03	343616	8045252
	343616	8045352
	343716	8045352
	343716	8045252
P-04	343573	8045865
	343573	8045965
	343673	8045965
	343673	8045865
P-05	344379	8046777
	344379	8046877
	344479	8046877
	344479	8046777
P-06	344946	8047196
	344946	8047296
	345046	8047296
	345046	8047196

Figura 30

Vista aérea de la zona de composición de biomasa a determinar entorno al río Sama dentro del área de embalse



Figura 31

Medición para la determinación del DAP de biomasa arbórea



Tabla 19*Diámetro y biomasa de los diferentes especies arbóreas*

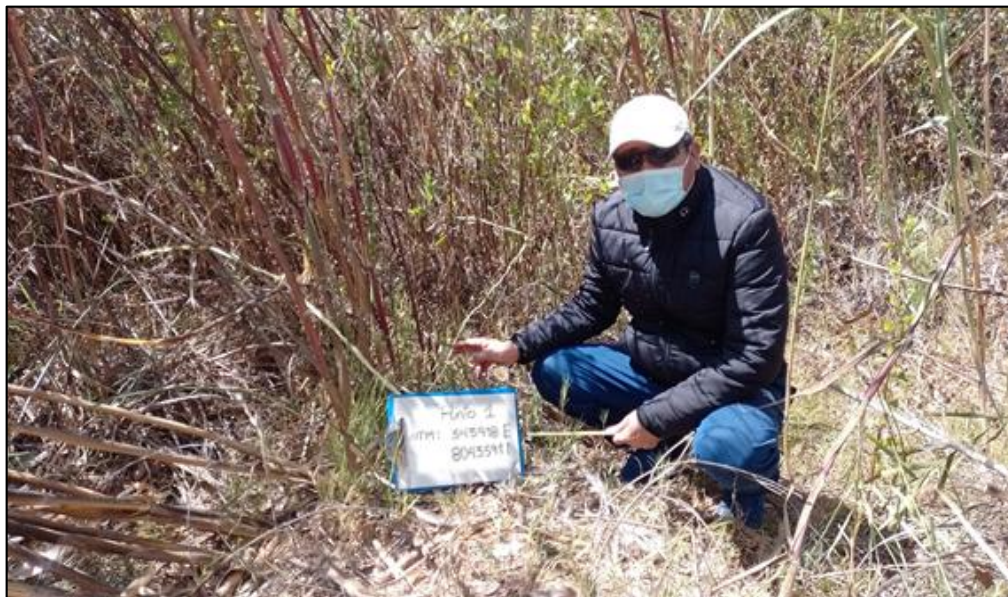
Parcela	Trans.	Muestra	DAP (cm)	Biomasa (t/ha)
P-01	A-I	Huarango	33	82,26
	A-I	Huarango	32	76,10
	A-I	Molle	19	20,35
	A-II	Huarango	30	64,64
	A-II	Casuarina	31	70,23
	A-III	Molle	30	64,64
	A-III	Molle	20	23,17
P-02	B-I	Molle	22	29,49
	B-I	Molle	18	17,75
	B-II	Huarango	30	64,64
	B-II	Huarango	28	54,28
	B-III	Sauce	32	76,10
P-03	C-I	Molle	26	45,00
	C-II	Eucalipto	28	54,28
	C-II	Eucalipto	31	70,23
	C-III	Eucalipto	30	64,64
	C-III	Huarango	33	82,26
P-04	D-I	Carza	32	76,10
	D-II	Molle	29	59,32
	D-III	Huarango	31	70,23
P-05	E-I	Palo verde	16	13,18
	E-II	Huarango	26	45,00
	E-III	Huarango	23	33,00
P-06	F-I	Molle	30	64,64
	F-II	Eucalipto	29	59,32
	F-II	Eucalipto	33	82,26
	F-III	Sauce	22	29,49
Total (t/ha)				1492,60

En la tabla 19 se muestra los resultados de la biomasa en t/ha de las diferentes especies arbóreas presentes entorno al cauce del río sama dentro del área de ambalse, encontrándose como dominante al huarango (*Prosopis pallida*) que obtuvo entre 33,00 t/ha hasta 82,26 t/ha de biomasa en base al DAP que fue de 33 cm, en segundo lugar se halló molle (*Schinus molle*) que obtuvo entre 17,75 t/ha hasta 64,64 t/ha de biomasa, en tercer lugar se encontró eucalipto (*Eucalyptus globulus*) con una biomasa entre 82,26 t/ha

y 54,28 t/ha, por otro lado, casuarina (*Casuarina*) en el transecto A-II con una biomasa de 70,23 t/ha, sauce (*Salix humboldtiana*) en el transecto B-III y carza (*Myrica pavonis*) en el transecto D-I con biomasa de 76,10 t/ha y en la transecto E-I palo verde (*Parkinsonia aculeata*) con 13,18 t/ha. Rimarachín (2017) menciona que la cantidad de biomasa de especies arbóreas se incrementa a medida que la edad y el área basal de la especie arbórea aumenta.

Figura 32

Evaluación de cuadrantes para determinar biomasa arbustiva y herbácea



En la figura 32 se observa la ubicación del primer cuadrante para la evaluación de biomasa arbustiva y herbácea seleccionada al azar, ubicada dentro del área del transecto ya determinado mediante coordenadas UTM teniendo en cuenta el tamaño de las parcelas de 1 ha aproximadamente a evaluar. En los transectos se procedió a la ubicación de los puntos geográficos de cada cuadrante ubicado al azar para luego proceder a recolección de las muestras del material que se encontraba debajo de la copa de los estratos arbóreos como entre los estratos arbustivos a ambos lados del cauce del río Sama dentro del área de embalse para el afianzamiento hídrico.

Figura 33

Determinación del peso fresco de la biomasa arbustiva y herbácea



Tabla 20

Biomasa arbustiva y herbácea en la cuenca del río Sama

Parcela	Trans.	PFT (g)	PFM (g)	PSM (g)	Biomasa arbustiva y herbácea (t/ha)
P-01	A-I	940	100	24,98	2,35
	A-II	910	100	31,55	2,87
	A-III	960	100	24,78	2,38
P-02	B-I	620	100	29,99	1,86
	B-II	690	100	22,38	1,54
	B-III	780	100	17,90	1,40
P-03	C-I	640	100	24,58	1,57
	C-II	570	100	22,71	1,29
	C-III	550	100	20,78	1,14
P-04	D-I	540	100	14,35	0,78
	D-II	490	100	16,99	0,83
	D-III	460	100	11,87	0,55
P-05	E-I	510	100	24,67	1,26
	E-II	480	100	15,57	0,75
	E-III	500	100	11,48	0,57
P-06	F-I	480	100	18,43	0,88
	F-II	390	100	15,54	0,61
	F-III	440	100	16,62	0,73

Donde: PFT = peso fresco total de la biomasa arbustiva y herbácea por 1 m^2 .

PFM = peso fresco de la biomasa arbustiva y herbácea.

PSM = peso seco de la biomasa arbustiva y herbácea.

En la tabla 20 se observa la biomasa arbustiva y herbácea hallada en las seis parcelas evaluadas entorno al cauce del río Sama, donde la mayor biomasa con 2,87 t/ha se halló en el transecto A-II y en el transecto D-II se encontró la menor biomasa con 0,55 t/ha. Actualmente la poca presencia de biomasa arbustiva y herbácea del monte ribereño en ciertos sectores de las parcelas P-04, P-05 y P-06 se debe a la destrucción y modificación de esta vegetación autóctona para la ampliación de terrenos de uso agrícola y también se encuentran zonas cercanas al cauce del río donde quedan riberas poco escarpadas y rocosas. León et al. (2017) consideran que un monte ribereño reducido presenta poca eficiencia como servicio ambiental dentro de un rango de 100 metros de ancho.

Figura 34

Determinación del peso fresco de hojarasca



Tabla 21*Biomasa de hojarasca en la cuenca del río Sama*

Parcela	Trans.	PFT (g)	PFM (g)	PSM (g)	Biomasa de hojarasca (t/ha)
P-01	A-I	180	100	27,03	1,95
	A-II	210	100	23,83	2,00
	A-III	250	100	26,27	2,63
P-02	B-I	300	100	37,93	4,55
	B-II	320	100	31,25	4,00
	B-III	210	100	30,07	2,53
P-03	C-I	340	100	38,51	5,24
	C-II	280	100	39,42	4,42
	C-III	290	100	32,85	3,81
P-04	D-I	190	100	28,53	0,54
	D-II	210	100	23,83	0,50
	D-III	180	100	18,91	0,34
P-05	E-I	170	100	21,49	0,37
	E-II	210	100	20,51	0,43
	E-III	150	100	21,48	0,32
P-06	F-I	180	100	20,39	0,37
	F-II	120	100	16,90	0,20
	F-III	160	100	18,12	0,29

Donde: $PFT = \text{peso fresco total de hojarasca por } 0,25 \text{ m}^2$.

$PFM = \text{peso fresco de la muestra de hojarasca}$.

$PSM = \text{peso seco de la muestra de hojarasca}$

En la tabla 21 podemos observar los resultados de las seis parcelas evaluadas de la biomasa de hojarasca presente entorno al cauce del río Sama dentro del área de embalse, donde se ha determinado que la mayor biomasa se presentó en las parcelas P-01, P-02 y P-03, siendo el transecto C-I quien dominó la presencia de biomasa de hojarasca con 5,24 t/ha, para Villoslada (2017) esto es debido a la existencia de una mayor cantidad de individuos y a la presencia de hojas y hojarasca en la superficie del suelo ya que en estos transectos existe mayor cantidad de restos y residuos por estar cerca a áreas agrícolas permiten un mayor aporte de hojarasca en comparación a las demás parcelas. Por otro lado las parcelas P-04, P-05 y P-06 denotaron una disminución de biomasa de hojarasca resaltando el transecto F-II con 0,20 t/ha ya que existe poca presencia de vegetación autóctona.

Tabla 22*Biomasa vegetal total (t/ha)*

Parcela	Biomasa arbórea (t/ha)	Biomasa arbustiva y herbácea (t/ha)	Biomasa de hojarasca (t/ha)	Total (t/ha)
P-01	401,39	7,60	6,57	415,56
P-02	242,26	4,80	11,08	258,14
P-03	316,41	4,01	13,46	333,88
P-04	205,65	2,15	1,38	209,18
P-05	91,18	2,58	1,12	94,88
P-06	235,71	2,22	0,86	238,79
Total (t/ha)	1492,60	23,36	34,47	1550,43

En la tabla 22 se muestra los resultados hallados de la biomasa vegetal total de las parcelas evaluados, resultando la parcela P-01 la que presenta una mayor cantidad de biomasa vegetal con 415,56 t/ha y la parcela P-05 es la que cuenta con la menor cantidad biomasa vegetal obtenida con 94,88 t/ha respecto a las demás parcelas evaluadas. Por lo tanto la biomasa total vegetal de las parcelas evaluadas dentro del área de embalse y entorno al cauce del río Sama es de 1550,43 t/ha que se perderían por inundamiento en el afianzamiento de recurso hídrico.

3.2.4. Factores culturales

Los sitios arqueológicos son parte del patrimonio cultural de una sociedad, pero sus áreas de influencia están involucradas fuertemente con su entorno, refiriéndose un sistema ecológico como a un ecosistema sociocultural. Para Bertonatti y Fernández (2019) la construcción de una represa va a involucrar impactos negativos e irreversibles sobre áreas de valor arqueológico, por lo que la realización de un estudio de impacto ambiental (EIA) del proyecto es de suma importancia para plantear medidas eficientes mediante una evaluación de impacto arqueológico. Aguilar et al. (2003) atribuye que las áreas arqueológicas impactadas por estas obras, en sus distintas fases de construcción, afectan el paisaje adyacente y a la interpretación del uso que se le dió a través del tiempo.

De acuerdo al mapa de evidencia arqueológica (anexo 3) nos muestra los sitios arqueológicos presentes al área del proyecto. El seguimiento y monitoreo realizado al área propuesta para del proyecto de afianzamiento hídrico, en base a la evaluación preliminar arqueológica y al Informe N° 00279-2021-SENACE-PE/DEIN, se identificó

un total de 23 evidencias arqueológicas entorno al área del proyecto que serían afectadas directamente por las diversas actividades ingenieriles de la obra. Dentro del área de irrigación se identificaron 17 evidencias arqueológicas, en tanto al área de la represa se hallaron 6 evidencias arqueológicas conformadas por restos malacológicos, paravientos, estructuras y cerámicas de la época prehispánica y colonial. Y fuera del área del proyecto se hallaron 2 evidencias arqueológicas que se registraron como preventivos para el caso haya en un futuro una ampliación del proyecto.

3.2.5. Ecosistemas y usos de suelo

El uso actual del suelo en el área de influencia del proyecto, está calificado según el sistema establecido por la Unión Geográfica Internacional (UGI 1949). Encontrándose categorías de centro poblados, tierras con cultivo, tierras con vegetación natural y tierras improductivas. De acuerdo al estudio de factibilidad de afianzamiento hídrico realizado por el Proyecto Especial Tacna (PET) en el área de influencia del proyecto se identificó el potencial de uso en estos suelos como cultivos permanentes, cultivos anuales, vegetación natural y tierras no aptas, este último conformada por pueblos, caseríos y viviendas, cauce del río Sama, infraestructuras de riego y carreteras. En tanto a la cobertura vegetal se encontraron cultivos permanentes, cultivos anuales, vegetación natural arbustiva y herbácea.

Obtener una buena disponibilidad de agua con el fin de lograr el bienestar social, va a depender de la integridad ecológica de estos ecosistemas fluviales y alrededores. Sin embargo, para Johnson et al. (2008) buscar el bien necesario para la vida y el avance de las comunidades, son éstos los perjudicados con el desarrollo de actividades antrópicas en la variación de la dinámica hidrológica y alteración de los ecosistemas en cuerpos de agua y superficies de la zona.

Los cambios en el flujo hídrico causan modificaciones en la estructura y funcionalidad de los ecosistemas acuáticos Peredo et al. (2014). Por ello se refiere al caudal ecológico como aquel flujo aguas abajo de las estructuras hidrológicas construidas en el cauce de un río, que pretende proteger a través de una cantidad adecuada de volumen de agua dentro del cauce y así salvaguardar los ecosistemas circundantes al proyecto (Alata, 2020).

El área de influencia de evaluación del proyecto de afianzamiento hídrico, ubicada en la cuenca del río Sama, existen usos de suelo tanto urbano y agrícolas que captan el recurso hídrico de este río para sus actividades de agricultura y ganadería, recurso hídrico que se pierde en el mar, y se ven involucrados por encontrarse dentro del área del proyecto como se muestra en el mapa de ecosistemas (anexo 4).

Las comunidades que se encuentran cercanas al cauce del río Sama en el área de influencia del proyecto, dependen mucho de los servicios ribereños naturales y esto se evidencia en temporadas de estiaje. A lo que Alata (2020) confirma, que si bien los ríos de la costa presentan dificultades con el caudal ecológico en ciertas regiones, esto se debe a que el cauce del caudal se anula durante las temporadas de estiaje, causando efectos adversos sobre los ecosistemas, por lo que Martínez et al. (2012) consideran que la construcción de represas son estructuras realizadas para controlar y manejar recursos hídricos limitantes, y que su ubicación por lo general se realizan en áreas donde predomina una escasez hídrica y avenidas en ciertas temporadas.

3.2.6. Efectos sobre actividades socio económicas

Los afectados son los agricultores de todos los sectores de la cuenca del río Sama. El 90 % de ellos son poseionarios que acceden a la propiedad de sus terrenos a través de herencias en modalidad de compra. El 70 % sobrepasan las 5 ha y las 2/3 partes poseen terrenos menores a 3 ha destinadas a la producción de forraje, crianza de ganado vacuno y producción de leche. Pero básicamente el 65 % de los pobladores se dedica al cultivo de maíz y alfalfa. El tipo de producción se limitada principalmente a la escasez hídrica y al método de riego, por gravedad, que aplican. Lo que los ha derivado a mejorar en la crianza de ganado a pesar de las dificultades con la calidad de agua.

El abastecimiento de agua entre la mayoría de pobladores es no potabilizado, por lo que adquieren agua de fuentes naturales. Según INEI (2017) el 59,82 % de los pobladores adquiere agua de camiones cisterna, y el 3,24 % emplean agua de ríos, quebradas o acequias. A esto se suma el desaprovechamiento de los excedentes hídricos de la cuenca del río Sama, por parte de las lluvias en épocas de verano que se pierden en el mar por la falta de una infraestructura reguladora.

A través del proyecto de afianzamiento hídrico ocurrirá un progresivo mejoramiento del riego en el valle de Sama lo que permitirá una ampliación de la zona agrícola.

De acuerdo al mapa de áreas agrícolas (anexo 5), las parcelas de producción agrícola ocupan el 63,52 %, mientras que un 14,01 % representa las parcelas existentes pero sin producción. Los agricultores que se encuentran en la zona inmediata de influencia directa del proyecto de construcción de la represa, son pequeños propietarios de entre 2 a 5 ha que representan el 70%, de este porcentaje el 63 % son propietarios con documentación saneada, los demás son posesionarios que usan y cultivan el terreno sin algún documento legal.

El área agrícola evaluada en su mayoría se encuentra dentro del área de influencia del proyecto o a poca distancia, como se muestra en el mapa de influencia (anexo 7), con dirección sur respecto al área del proyecto. El componente agrícola posee una alta prioridad por parte de del Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI), por lo que la ejecución del proyecto va a suponer un mejoramiento para el riego en los suelos agrícolas. Otro componente de prioridad son los servicios de agua potable y desagüe para la población que vive circundante a la cuenca del río Sama.

Así mismo las viviendas aledañas y las que se encuentran dentro del área del proyecto de acuerdo al mapa de ubicación de viviendas (anexo 6), se sitúan en dos sectores primordialmente, sector Yarascay y sector Coruca, que se verán reubicadas antes de la ejecución del proyecto hacia zonas más seguras o con alguna retribución económica.

3.3. Propuesta de plan de manejo ambiental

El plan de manejo ambiental es aquel instrumento destinado para la gestión ambiental y a proporcionar una guía de programas, procedimientos y acciones encaminadas para salvaguardar el ambiente ante las actividades inherentes de un proyecto.

Con el fin de alcanzar que las externalidades que estén asociadas al proyecto logren ser internalizadas y garantizar la sostenibilidad evitando que sean afectadas las áreas de influencia del proyecto, por lo que se requirió la implementación de una propuesta de plan de manejo ambiental, el que se describe en el anexo 8. En este apartado se propone los siguientes programas:

1. Programa de manejo del camarón de río
2. Programa de afectaciones y compensaciones
3. Programa de restauración ambiental
4. Programa de relaciones comunitarias
5. Programa de monitoreo ambiental
6. Programa de minimización y manejo de residuos solidos
7. Programa de manejo de aguas residuales
8. Programa de educación ambiental
9. Programa de señalización ambiental
10. Programa de manejo de recursos naturales
11. Programa de salud y seguridad en el trabajo
12. Programa de manejo de manejo de combustible y lubricantes
13. Programa de manejo de explosivos

Mediante estos programas se busca identificar donde se produce la generación de impactos ambientales negativos e impactos positivos dentro del área de influencia del afianzamiento de la cuenca del río Sama a causa de la ejecución de las actividades del mismo.

Al igual que en el proyecto de represamiento para la central hidroeléctrica Santa Teresa en Cusco se plantea los programas propuestos por Huarhua (2018) en lo concerniente al plan de manejo ambiental que es un instrumento de gestión ambiental, este debe cumplirse en todo el desarrollo del proyecto de tal manera que las actividades se desenvuelvan de forma segura, responsable y siempre protegiendo al ambiente dentro de las normas ambientales vigentes.

De igual manera en el proyecto de represamiento para la central hidroeléctrica Inambari, Ampuero (2011) propuso un programa de gestión ambiental con el fin de servir como instrumento de mejora ambiental en las fases del proyecto, en donde incorporó tres aspectos.

- Plan de contingencia, que consiste en el análisis basado en las amenazas y vulnerabilidad del proyecto a fin de determinar los niveles de riesgo más importantes como inundaciones, sequías, incendios operacionales o de manejo del entorno, descargas eléctricas (rayos) y derrame de hidrocarburos.
- Plan de monitoreo, donde el muestreo de calidad de agua debe darse en la entrada de bocatoma de la represa y en el área de desfogue, con el fin de determinar nutrientes que aceleren el desarrollo de plantas acuáticas que puedan provocar problemas en la estructura y maquinaria de la represa.
- Plan de supervisión ambiental, donde se realiza un seguimiento tanto en la implementación y aplicación de los planes elaborados para cada fase del proyecto.

De acuerdo a Bermudez (2021) el plan de manejo ambiental asociado a la construcción de represas y a la prevención de impactos ambientales en la subcuenca del río Chanchas en Huancayo, cuyo fin es encontrar el mejor método para ejecutar las acciones, de tal forma los impactos negativos sean minimizados o eliminados y asegurar que las comunidades no sufran las consecuencias a largo plazo lo que incluye mitigar, compensar y revertir el daño ambiental con el cumplimiento de los programas de protección ambiental. Coincidiendo con Córdova (2015) que integra medidas de mitigación en el diseño de embalse considerando los impactos ambientales, es necesario plantear un conjunto de programas y actividades para la prevención, mitigación y prevención de los impactos generados durante las distintas fases del proyecto de afianzamiento hídrico.

Choccechanca (2017) propone una metodología para diseñar el plan de manejo ambiental en la construcción de la represa Iruro en Lucanas, Ayacucho, orientado al desarrollo del proyecto en la realización de actividades orientadas al desarrollo sostenible del área de influencia y del proyecto, asegurando el cumplimiento de la normativa ambiental.

Por lo que se tomaron en consideración ciertos lineamientos que coinciden con lo propuesto en el anexo 8, como:

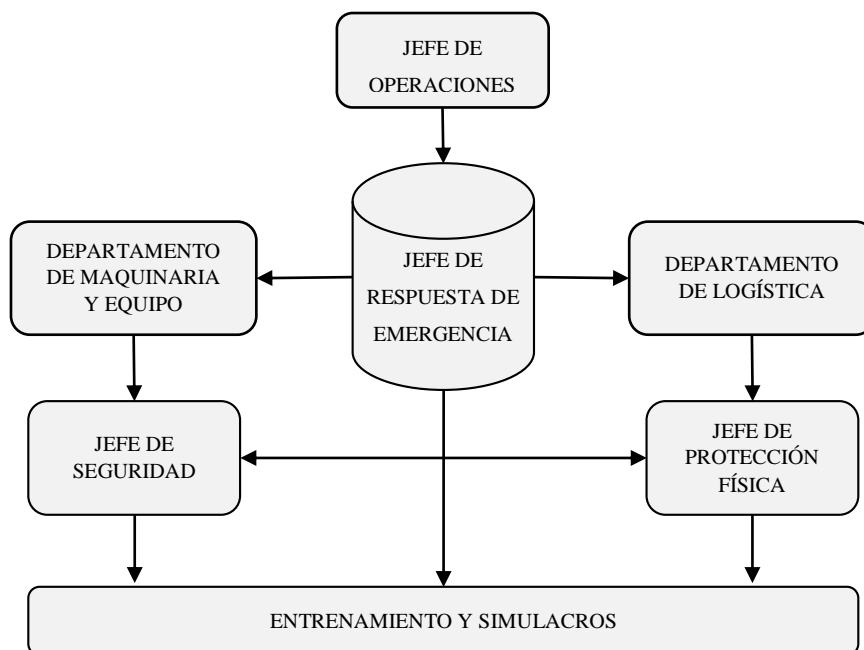
- Reconocimiento de los factores ambientales afectados en la ejecución de la medida a implementarse.
- Efectos esperados en la ejecución de medidas propuestas.

- Institución o personas responsables de la ejecución y control de la medida propuesta.
- El momento de ejecución de la propuesta.

Ampuero (2011) en la propuesta de plan de manejo establece procedimientos y planes de emergencia para generar una respuesta adecuada ante los incidentes imprevistos, y la realización de manuales de acción ante las emergencias, de acuerdo a los niveles y magnitudes del evento donde se actuará según el tipo de alerta definida por las instancias y autoridades.

Figura 35

Organización para la respuesta ante contingencias



Fuente: Ampuero (2011)

Córdova (2015) menciona que debe considerarse la existencia de diferentes actores partícipes de las actividades en el desarrollo de represamiento, cuyo aporte en experiencia y conocimiento en la prevención, atención y control de posibles eventos no previstos y no afecte el caudal ecológico durante el afianzamiento hídrico.

CONCLUSIONES

1. Con la aplicación del método hídrico e hidrográfico, y utilizando la data histórica del caudal del río Sama en la estación Coruca, se determinó el caudal ecológico que corresponde al 15 % del caudal promedio histórico con un valor de 0,386 m³/s; valor que coincide con el establecido por el estudio hídrico correspondiente.
2. Se identificó que los servicios ambientales afectados corresponden a la calidad de agua, como un servicio de abastecimiento; la biodiversidad como un servicio de regulación, dentro de este último la modificación de la biodiversidad del monte ribereño y la modificación del potencial de las especies hidrobiológicas de la zona. La biomasa total vegetal afectada por inundación en el afianzamiento hídrico dentro del área de embalse entorno al cauce del río Sama es de 1550,43 t/ha.
3. Se plantea un plan de manejo exclusivo para el control de caudal ecológico el cual consta de un programa de monitoreo y un programa de contingencia, el primero relacionado con el cumplimiento de los caudales ecológicos a lo largo de todo el año y los efectos que pueda generar sobre los servicios ambientales identificados, y el segundo la medida ante la alerta del no cumplimiento del caudal ecológico.

RECOMENDACIONES

1. Aplicar otras metodologías para la determinación del caudal ecológico, considerando sobre todo las metodologías holísticas.
2. Desarrollar programas de investigación vinculadas a la disponibilidad hídrica en la viabilidad de proyectos de afianzamiento hidráulico que involucren su aprovechamiento, y protección a los recursos hidrobiológicos para la utilización sostenible del caudal ecológico.
3. Realizar capacitaciones de sensibilización al personal del proyecto y a los pobladores de las comunidades, en temas de carácter ambiental, enfatizando las medidas de prevención, corrección y/o mitigación señaladas en el plan de manejo ambiental propuesto.
4. Realizar un estudio de valoración económica para el área, de acuerdo a los protocolos nacionales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACA. (2006). Protocolo para la valoración de la calidad hidromorfológica de los ríos – HIDRI. In *Agencia Catalana del Agua, ACA*. http://observatoriagua.uib.es/repositori/gf_indicadores_calidad
- Acreman, M., y Dunbar, M. (2004). Defining environmental river flow requirements - A review. *Hydrology and Earth System Sciences*, 8(5), 861–876. <https://doi.org/10.5194/hess-8-861-2004>
- Aguilar, V. (2003). Aguas continentales y diversidad biológica de México: un recuento actual. *Biodiversitas*. 8(48). <https://agua.org.mx/biblioteca/aguas-continentales-y-diversidad-biologica-de-mexico-un-recuento-actual/>
- Alata, J. (2020). Determinación del caudal ecológico en centrales hidroeléctricas del Perú, aplicación a un caso típico. *Anales científicos*. 81(1), 204–2019. <https://doi.org/10.21704/ac.v81i1.1630>
- Alvaro, H. (2017). *Impactos socioambientales generados por la represa Paucarcocha en la comunidad campesina de Tanta, Yauyos, Lima, 2015* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/4036>
- Ampuero, M. (2011). *Evaluación del impacto sobre el medio ambiente del megaproyecto central hidroeléctrica Inambari 1.5GW Brasil* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/2685>
- ANA. (2010). Estudio evaluación de recursos hídricos cuencas de los ríos Locumba y Sama - Tacna. In *Administración Local de Agua Locumba Sama: Vol. I*. <https://repositorio.ana.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12543/2290/ANA0000993.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- ANA. (2015). Diagnóstico sobre los Caudales Ecológicos en el Perú (Primera Fase). In *Autoridad Nacional del Agua - ANA*. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/1927>
- ANA. (2016), Afianzamiento hídrico en la cuenca de Locumba Sama. In *Autoridad Nacional del Agua (ANA)*. Lima, Perú.
- Andrade, J., y Olaya, A. (2021). Impactos económicos, sociales y ambientales generados por las grandes hidroeléctricas. Una revisión. *Interciencia*, 46(1), 19–25.

https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2021/02/02_6537_A_Andrade_v46n1_7.pdf

Araque, M., Vásconez, M., Mancheno, A., Álvarez, C., Prehn, C., Cevallos, C., y Ortiz, L. (2019). Cuencas Hidrográficas. In *Universidad Politécnica Salesiana* (1era. Edic). [https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19038/1/Cuencas hidrográficas](https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19038/1/Cuencas%20hidrogr%C3%A1ficas)

Arévalo, L., Alegre, J. y Palm, CH. (2003). Manual: Determinación de las reservas totales de carbono en los diferentes sistemas de uso de la tierra. Edición: Gráfica Miguel Álvarez. Lima, Perú.

Arthington, A., Bhaduri, A., Bunn, S., Jackson, S., Tharme, R., Tickner, D., Young, B., Acreman, M., Baker, N., Capon, S., Horne, A., Kendy, E., McClain, M., Poff, N., Richter, B. y Ward, S. (2018a). The Brisbane declaration and global action agenda on environmental flows (2018). *Frontiers in Environmental Science*, 6(45), 1–15. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00045>

Arthington, A., Kennen, J., Stein, E., y Webb, J. (2018b). Recent advances in environmental flows science and water management—Innovation in the Anthropocene. *Freshwater Biology*, 63(8), 1022–1034. <https://doi.org/10.1111/fwb.13108>

Resolución Jefatural N° 267-2019-ANA, Lineamientos generales para determinar caudales ecológicos (2019). Lima, Perú. <https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/RJ%20267-2019-ANA.pdf>

Barriga, C., Barriga, J., y Pereira, E. (2019). A comparison of geophysical techniques and analysis to evaluate the geotechnical parameters of the riparian environment of Moquegua–Peru. *Geotechnical Engineering in the XXI Century: Lessons learned and future challenges*, 1, 879–887. <https://doi.org/10.3233/STAL190125>

Bermudez, J. (2021). Relación de la estrategia de manejo ambiental asociada a la construcción de represas y la prevención de impactos ambientales negativos en la subcuenca del río Chanchas, 2019 [Tesis de pregrado, Universidad Continental]. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/9346>

Bertonatti, C., Fernández, C. (2019). El patrimonio arqueológico amenazado por las represas en el río Santa Cruz. *Fragmentos del pasado*, (6), 59–75. <https://www.plarci.org/index.php/fragmentos/article/view/958>

- Brown, O., Gallardo, Y., Williams, P., y Torres, Y. (2016). Caudal ecológico del río Chambas en la provincia Ciego de Ávila. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 37(1), 58–71. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382016000100005
- Chavarría, L., Guzmán, I., Quesada, F., y Watson, F. (2020). *Determinación del caudal ambiental requerido para río Pejibaye mediante la implementación de una metodología de cálculo hidrobiológica, considerando variables de cambio climático* [Proyecto de investigación y extensión, Tecnológico de Costa Rica]. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/11562>
- Chávez, C. F. (2020). *Estimación comparada del caudal ecológico en el río Chancay-Lambayeque con métodos de enfoque hidrológico y eco-hidráulico* [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/16831>
- Chen, W., y Olden, J. (2017). Designing flows to resolve human and environmental water needs in a dam-regulated river. *Nature communications*, 8(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02226-4>
- Choccechanca, S. (2017). *Impacto ambiental y plan de manejo de la construcción represa Iruro en Lucanas Ayacucho* [Tesis de maestría, Universidad Nacional del Centro del Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/4565>
- CMR. (2000). Represas y desarrollo: Un nuevo marco para la toma de decisiones - Una síntesis. In *Informe de la Comisión Mundial de Represas (CMR)*. <https://agua.org.mx/biblioteca/represas-y-desarrollo-un-nuevo-marco-para-la-toma-de-decisiones/>
- Consuegra, C. (2013). *Síntesis metodológica para la obtención de caudales ecológicos (Qe), resultados y posibles consecuencias* [Tesis de pregrado, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito]. <https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/75>
- Córdova, J. (2015). *Diseño de embalse teniendo en consideración los impactos ambientales* [Tesis de pregrado, Universidad de Piura]. <https://hdl.handle.net/11042/2387>
- Coronel, N. (2019). Potencial acuícola de los recursos hídricos continentales de la región Tacna. *Ciencia & Desarrollo*, (11), 109–112. <https://doi.org/10.33326/26176033.2007.11.237>
- Custodio, M., Chanamé, F., Pizarro, S., y Cruz, D. (2018). Quality of the aquatic environment and diversity of benthic macroinvertebrates of high Andean wetlands of the Junín region,

- Peru. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, 44(3), 195–202.
<https://doi.org/10.1016/j.ejar.2018.08.004>
- De la Lanza, G., González, R., González, I., y Hernández, S. (2018). Caudal ecológico de ciertos ríos que descargan al Golfo de México y al Pacífico Mexicano. *Ribagua*, 5(1), 3–15.
<https://doi.org/10.1080/23863781.2018.1442187>
- Diez, J., y Burbano, L. (2007). Tecnología ecológica para la planificación de cuencas hidrográficas: regímenes caudales ambientales. *Facultad de Ciencias Agropecuarias*, 5(2), 20–31. <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/655>
- Diez, J. (2005). Bases metodológicas para el establecimiento de caudales ecológicos en el ordenamiento de cuencas hidrográficas. *Ingeniería y Competitividad*, 7(2), 11–18.
<https://doi.org/10.25100/iyc.v7i2.2513>
- Dyson, M., Bergkamp, G., y Scanlon, J. (2003). Caudal, elementos esenciales de caudal ambientales. In *UICN, Water & Nature Initiative*. <https://agua.org.mx/biblioteca/serie-agua-y-naturaleza-caudal-elementos-esenciales-de-caudales-ambientales/>
- ENDESA. (2011). Introducción al cálculo caudales ecológicos. Un análisis de las tendencias actuales. In *ENDESA Chile*.
http://observatoriaigua.uib.es/repositori/gf_caudales_calculo.pdf
- Espinosa, M., Espinosa, G., Luquez, G., y Ruiz, S. (2010). Ingeniería de presas de escollera. In *Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo*.
<https://bdigital.uncu.edu.ar/6083>
- Fernández, A., y Cebrián, M. (2010). Conceptos y métodos sobre el régimen de caudales ecológicos. In *Infraestructura y Ecología S.L. (INFRAECO)*.
http://observatoriaigua.uib.es/repositori/gf_caudales_conceptos.pdf
- Flachier, A. (2016). *Análisis de metodologías para el estudio de caudales ecológicos. Casos de estudio en ríos altoandinos ecuatorianos* [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/13217>
- Fontana, J. (2021). La vegetación reófila del nordeste argentino. Los efectos de la represa de Yacyretá (Argentina y Paraguay) sobre comunidades reófilas. *Extensionismo, Innovación y Transferencia Tecnológica*, 7, 226–240. <https://doi.org/10.30972/eitt.704779>

- Gallo, D. (2016). Consideraciones para la aplicación del método hidráulico R2CROSS para estimar caudales ecológicos en Colombia. *Intropica*, 11(45), 111–126. <https://doi.org/10.21676/23897864.1867>
- Gobierno Regional de Tacna (2020a). Estudio hidrológico: Mejoramiento del servicio de provisión de agua para riego mediante sistema de represamiento en la cuenca del río Sama. Tacna – Perú
- González, E., Ortega, H., Yáñez, M., y Rodríguez, A. (2019). Diagnóstico de indicadores de calidad físico-química del agua en afluentes del río Atoyac. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 10(1), 30–51. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2019-01-02>
- Grizzetti, B., Pistocchi, A., Liqueste, C., Udias, A., Bouraoui, F., y Van de Bund, W. (2017). Human pressures and ecological status of European rivers. *Scientific reports*, 7(205), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-00324-3>
- Guachamín, Y. (2019). *Identificación de indicadores de calidad basados en los servicios ecosistémicos ofrecidos por el refugio de vida silvestre manglares estuario río Esmeraldas* [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. <https://repositorio.pucese.edu.ec/handle/123456789/1975>
- Han, M., Brierley, G., Li, B., Li, Z., y Li, X. (2020). Impacts of flow regulation on geomorphic adjustment and riparian vegetation succession along an anabranching reach of the Upper Yellow River. *Catena*, 190. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104561>
- Huarhua, R. (2018). *Implementación de un plan de manejo y monitoreo ambiental en la zona de influencia del proyecto central hidroeléctrica Santa Teresa* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/5827>
- Izquierdo, M., y Madroño, S. (2014). Régimen de caudal ecológico, herramienta de gestión para conservar la biota acuática. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 23(2), 77–94. <https://doi.org/10.18359/rcin.224>
- Janssen, P., Stella, J., Piégay, H., Räßple, B., Pont, B., Faton, J., Cornelissen, J. y Evette, A. (2020). Divergence of riparian forest composition and functional traits from natural succession along a degraded river with multiple stressor legacies. *Science of the Total Environment*, 721(137730), 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137730>

- Johnson, P., Olden, P. y Zanden, J. (2008). Dam invaders: impoundments facilitate biological invasions into freshwaters. *Front Ecol Environ*, 6(7), 357–363. <https://doi.org/10.1890/070156>
- Kendy, E., Apse, C., Blann, K., Smith, M. y Richardson, A. (2012). A practical guide to environmental flows for policy and planning. In *The Nature Conservancy*. <https://cawaterlibrary.net/document/a-practical-guide-to-environmental-flows-for-policy-and-planning-with-9-case-studies/>
- King, J., y Louw, D. (1998). Instream flow assessments for regulated rivers in South Africa using the building block methodology. *Aquatic Ecosystem Health and Management*, 1(2), 109–124. [https://doi.org/10.1016/S1463-4988\(98\)00018-9](https://doi.org/10.1016/S1463-4988(98)00018-9)
- King, J., Tharme, R., y de Villiers, M. (2008). Environmental flow assessments for rivers: Manual for the building block methodology. In *Water Research Commission*. <https://www.wrc.org.za/wp-content/uploads/mdocs/TT%20354-CONSERVATION.pdf>
- Kuriqi, A., Pinheiro, A., Sordo, A., y Garrote, L. (2019a). Flow regime aspects in determining environmental flows and maximising energy production at run-of-river hydropower plants. *Applied Energy*, 256, 1–35. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113980>
- Kuriqi, A., Pinheiro, A. N., Sordo, A., y Garrote, L. (2019b). Influence of hydrologically based environmental flow methods on flow alteration and energy production in a run-of-river hydropower plant. *Journal of Cleaner Production*, 232, 1028–1042. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.358>
- León, F., Cáceres, F., Carbajal, V., y Sulca, L. (2017). Estudio y conservación de la flora del monte ribereño del distrito de Pachía - Tacna. *Ciencia & Desarrollo*, (4), 55–60. <https://doi.org/10.33326/26176033.1996.4.81>
- Martínez, A., Búrquez, A. y Calmus, T. (2012). Disyuntivas: impactos ambientales asociados a la construcción de presas. *Región y Sociedad*, (3), 289–307. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10223024009>
- Matienco, R. (2014). *Análisis de la influencia de la represa de Gallito Ciego en la calidad del agua del curso inferior del río Jequetepeque* [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/6206>

- Mendoza, M., Quevedo, A., Bravo, A., Flores, H., De La Isla, M., Gavi, F. y Zamora, B. (2014). Estado ecológico de ríos y vegetación ribereña en el contexto de la nueva Ley General de Aguas de México. *Revista Internacional De Contaminación Ambiental*, 30(4), 429–436. <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/45597>
- Mayo, M. (2000). *Determinación de regímenes de caudales ecológicos mínimos adaptación del método IFIM-PHABSIM y aplicación a los ríos españoles* [Tesis de doctorado, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes]. <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.667>
- Moreno, G. (2021). Percepción de los servicios ambientales de provisión en la reserva natural Pacoche. *Telos: Revista Científica Arbitrada*, 23(2), 267–285. <https://doi.org/10.36390/telos232.05>
- MINAM. (2015). Guía de valoración económica del patrimonio natural. In *Ministerio del Ambiente, Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural*. Lima – Perú. <https://www.minam.gob.pe/patrimonio-natural/wp-content/uploads/sites/6/2013/10/GVEPN-30-05-16-baja.pdf>
- MINAM. (2013). Documento de trabajo: Diagnóstico para la gestión del cambio climático en Tacna. In *Ministerio del Ambiente, Gobierno Regional de Tacna*.
- Mizdraje, D. (2019). La dimensionalidad ambiental en las políticas públicas locales. Identificación y valoración de los servicios ambientales del periurbano en Villa María, Córdoba. *Sociales Investiga*, (7), 154–162. <https://socialesinvestiga.unvm.edu.ar/ojs/index.php/socialesinvestiga/article/view/276>
- Morales, O. (2017). *Evaluación de la metodología IFIM-PHABSIM para la determinación de caudales ambientales en un tramo de la subcuenca río Neusa* [Tesis de pregrado, Universidad Santo Tomás]. <http://hdl.handle.net/11634/9237>
- MVOTMA. (2011). Manual de diseño y construcción de pequeñas presas. In *Ministerio de vivienda, ordenamiento territorial y medio ambiente (MVOTMA)*. http://www.fagro.edu.uy/~hidrologia/riego/Manual Pequenas Presas V1-v1_01.pdf
- O'Brien, G., Dickens, C., Hines, E., Wepener, V., Stassen, R., Quayle, L., Fouchy, K., MacKenzie, J., Graham M. y Landis, W. (2018). A regional-scale ecological risk framework for environmental flow evaluations. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(2), 957–975. <https://doi.org/10.5194/hess-22-957-2018>

- Ordóñez, J. (2011). ¿Qué Es Cuenca Hidrológica? Cartilla Técnica: Contribuyendo al desarrollo de una Cultura del Agua y la Gestión Integral del Recurso Hídrico. In *Sociedad Geográfica de Lima*. http://www.gwp.org/Global/GWP-SAm_Files/Publicaciones/Varios/Cuenca_hidrologica.pdf
- Oviedo, E. (2018). Las Hidroeléctricas: efectos en los ecosistemas y en la salud ambiental. *Revista de La Universidad Industrial de Santander. Salud*, 50(3), 191–192. <https://doi.org/10.18273/revsal.v50n3-2018003>
- Palau, A., y Alcazar, J. (2012). The basic flow method for incorporating flow variability in environmental flows. *River Research and Applications*, 28, 93–102. <https://doi.org/10.1002/rra.1439>
- Palau, A., y Prieto, C. (2009). Hidroelectricidad, embalses y cambio climático. *Ingeniería Del Agua*, 16(4). <https://doi.org/10.4995/ia.2009.2959>
- Palza, H. (2014). *Análisis espacial y temporal de sequías en las cuencas hidrográficas de la Región Tacna* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann]. <http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/2802>
- Pantoja, N. (2017). *Estimación de caudales ecológicos mediante métodos hidrológicos, hidráulicos y ecológicos en la quebrada El Conejo (Mocoa-Putumayo)* [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Javeriana]. <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/21157>
- Peña, M. (2017). Principios, criterios y recomendaciones para el establecimiento de regímenes de caudales ambientales en Centroamérica. In *UNESCO*. https://es.unesco.org/system/files/principios_criterios_y_lineamientos_para_centroamerica.pdf
- Peredo, M., Salcedo, G. y Quevedo D. (2014). Determinación del caudal ecológico mediante el método caudal básico de mantenimiento en el río Bureo. *XXVI Congreso Latinoamericano de Hidráulica. 1*, 1–9. <https://doi.org/10.13140/2.1.5022.6886>
- Poff, N. (2018). Beyond the natural flow regime? Broadening the hydro-ecological foundation to meet environmental flows challenges in a non-stationary world. *Freshwater Biology*, 63(8), 1011-1021. <https://doi.org/10.1111/fwb.13038>

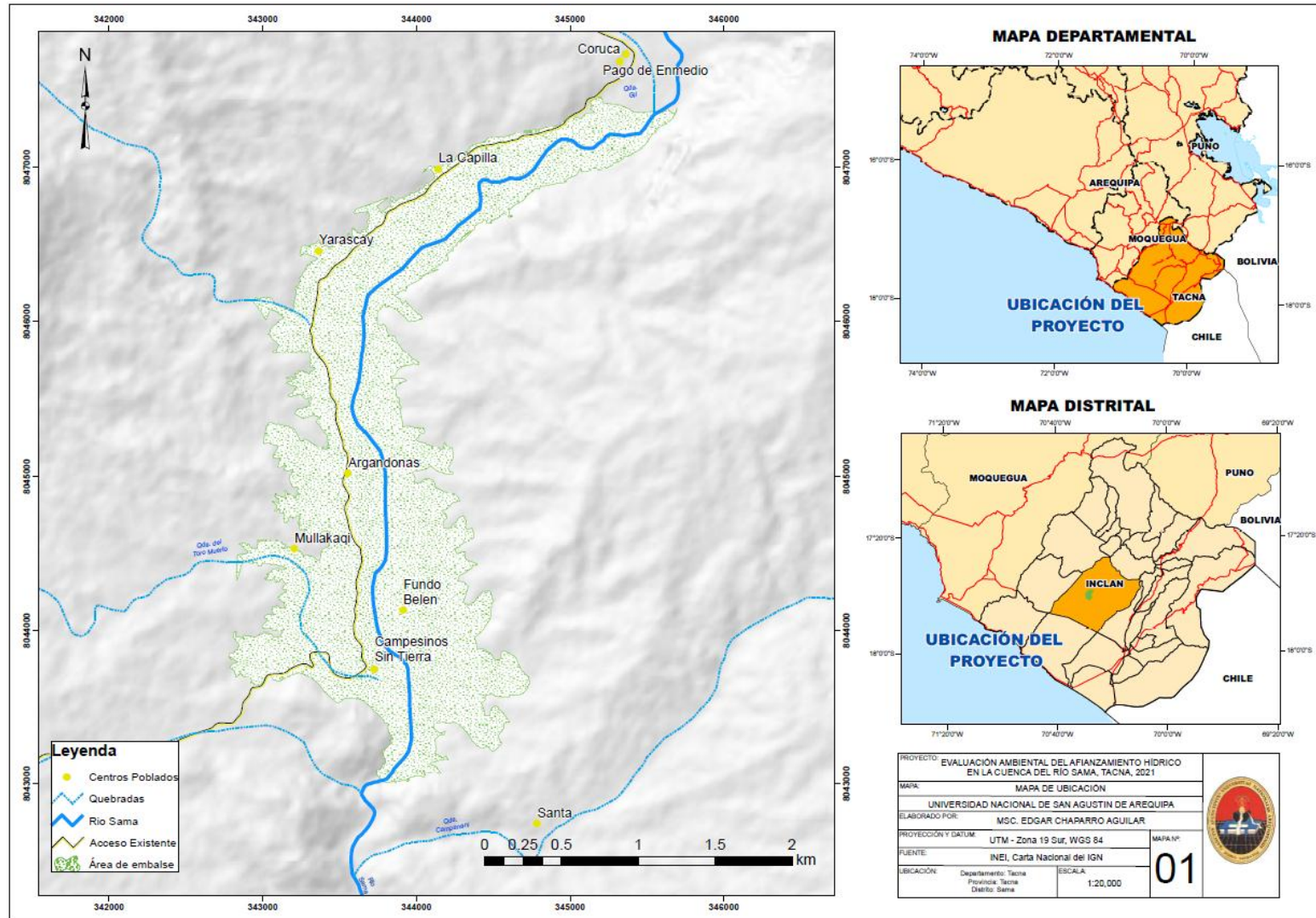
- Poff, N., Tharme, R., y Arthington, A. (2017). Evolution of environmental flows assessment science, principles, and methodologies. En Horne, A., Webb, J., y Acremann, M. (Ed.) *Water for the Environment* (pp. 203-236). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803907-6.00011-5>
- Prats, J., Morales, R., Dolz, J., y Armenol, J. (2014). Aportaciones de la limnología a la gestión de embalses. *Ingeniería Del Agua*, 18(1), 83–97. <https://doi.org/10.4995/ia.2014.3145>
- Quiñones, L., Pacheco, J., Batllori, E., Zetina, C., y Cabrera, S. (2018). Delimitación de una unidad de reserva hidrológica en el karst del Estado de Yucatán considerando los servicios ambientales. *Ingeniería*, 22(2), 36–51. <https://www.revista.ingenieria.uady.mx/ojs/index.php/ingenieria/article/view/88>
- Rimarachín, M. (2017). *Determinación de ecuaciones alométricas para estimar el contenido de biomasa total y la captura de dióxido de carbono en una plantación forestal de Eucalyptus torelliana en el sector Indoche, Distrito y Provincia de Moyobamba, Región San Martín* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Martín]. <http://hdl.handle.net/11458/2857>
- Sandoval, W. (2018). Capítulo 1: Presas y Embalses. Introducción al estudio de presas y embalses. In *Diseño de obras Hidraotécnicas*. https://www.researchgate.net/publication/326560488_Capítulo_1_Presas_y_Embalses
- SEA. (2016). Guía metodológica para determinar el caudal ambiental para centrales hidroeléctricas en el SEIA. In *Servicio de Evaluación Ambiental (SEA)*. https://sea.gob.cl/sites/default/files/imce/archivos/2016/guia_caudal_ambiental.pdf
- SEMARNAT. (2013). Cuencas hidrográficas. Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión. In *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)*. <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2013/CD001596.pdf>
- Shinozaki, Y., y Shirakawa, N. (2021). A legislative framework for environmental flow implementation: 30-years operation in Japan. *River Research and Applications*. 37(9), 1323–1332. <https://doi.org/10.1002/rra.3831>
- Skoulidakis, N., Sabater, S., Datry, T., Morais, M., Buffagni, A., Dörflinger, G., Zogaris, S., Sánchez, M., Bonada, N., Kaloginni, E., Rosado, J., Vardkas, L., De Girolamo, A. y Tockner, K. (2017). Non-perennial Mediterranean rivers in Europe: status, pressures, and

- challenges for research and management. *Science of the Total Environment*, 577, 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.147>
- Tharme, R. (2003). A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers. *River research and applications*, 19(5-6), 397– 441. <https://doi.org/10.1002/rra.736>
- Vásquez, A., Mejía, A., Faustino, J., Terán, R., Vásquez, I., Díaz, J., Vásquez, C., Castro, A., Tapia, M., y Alcántara, J. (2016). Manejo y gestión hidrográficas. In *Universidad Nacional Agraria La Molina*. <http://www.fondoeditorialunalm.com/wp-content/uploads/2020/09/CUENCAS-HIDROGRAFICAS.pdf>
- Villoslada, J. (2017). *Evaluación del potencial ecosistémico de un bosque secundario y su influencia en la captura de carbono, en el sector Puerto Motilones, Distrito de Moyobamba-2015* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Martín]. <http://hdl.handle.net/11458/2625>
- World Vision (2004). Manual de manejo de cuencas. In *San Salvador*. <https://www.actswithscience.com/Descargas/manual%20de%20manejo%20de%20cuencas.pdf>
- Wu, Z., Wang, X., Chen, Y., Cai, Y., y Deng, J. (2018). Assessing river water quality using water quality index in Lake Taihu Basin, China. *Science of the Total Environment*, 612, 914–922. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.293>
- Zmijewski, N. (2017). Effects of watershed dynamics on water reservoir operation planning: Considering the dynamic effects of streamflow in hydropower operation. In *School of Architecture and the Built Environment*. <https://www.dissertations.se/dissertation/1a0b997107/>

ANEXOS

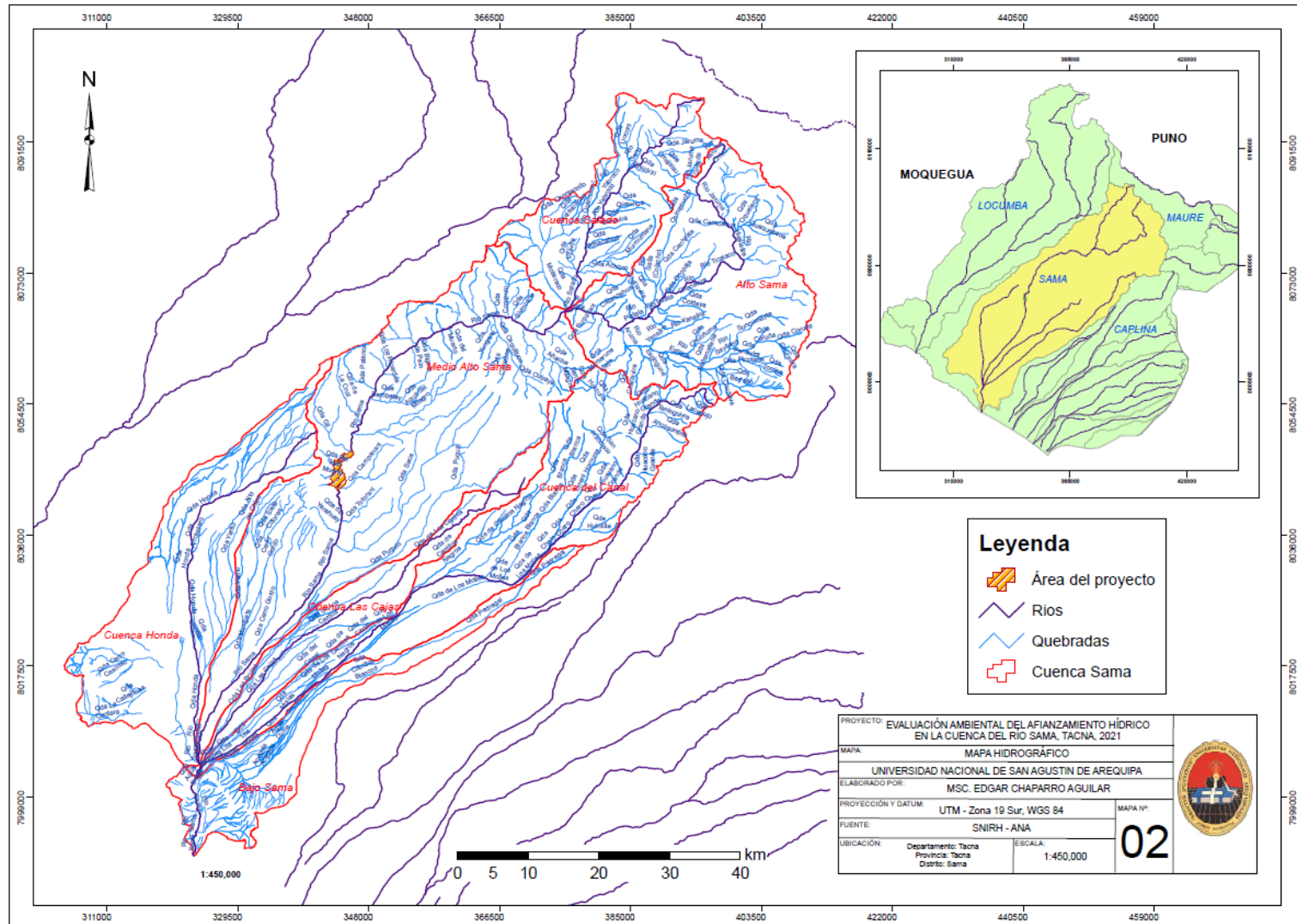
Anexo 1

Mapa de ubicación del proyecto



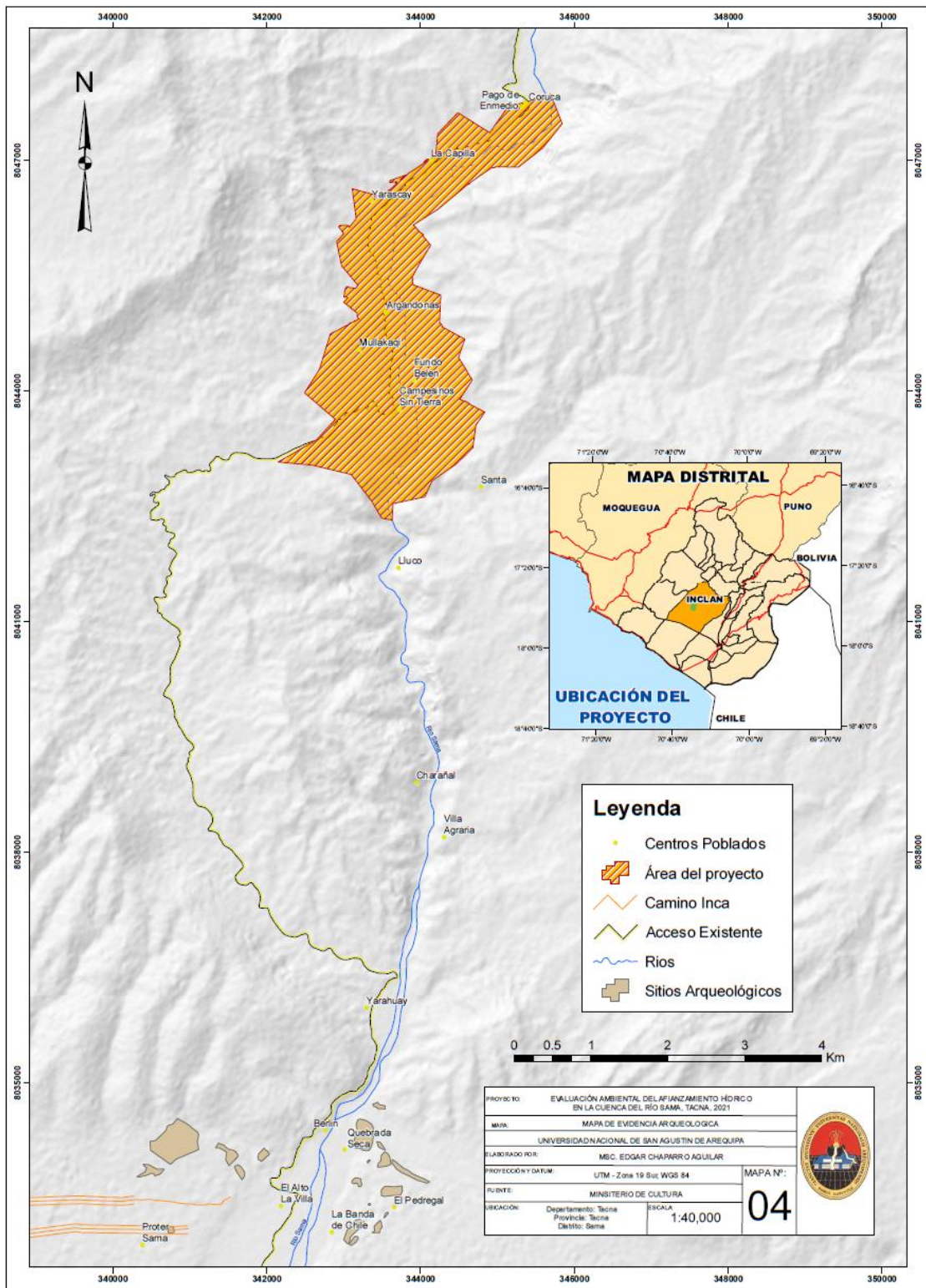
Anexo 2

Mapa hidrográfico de la cuenca de río Sama

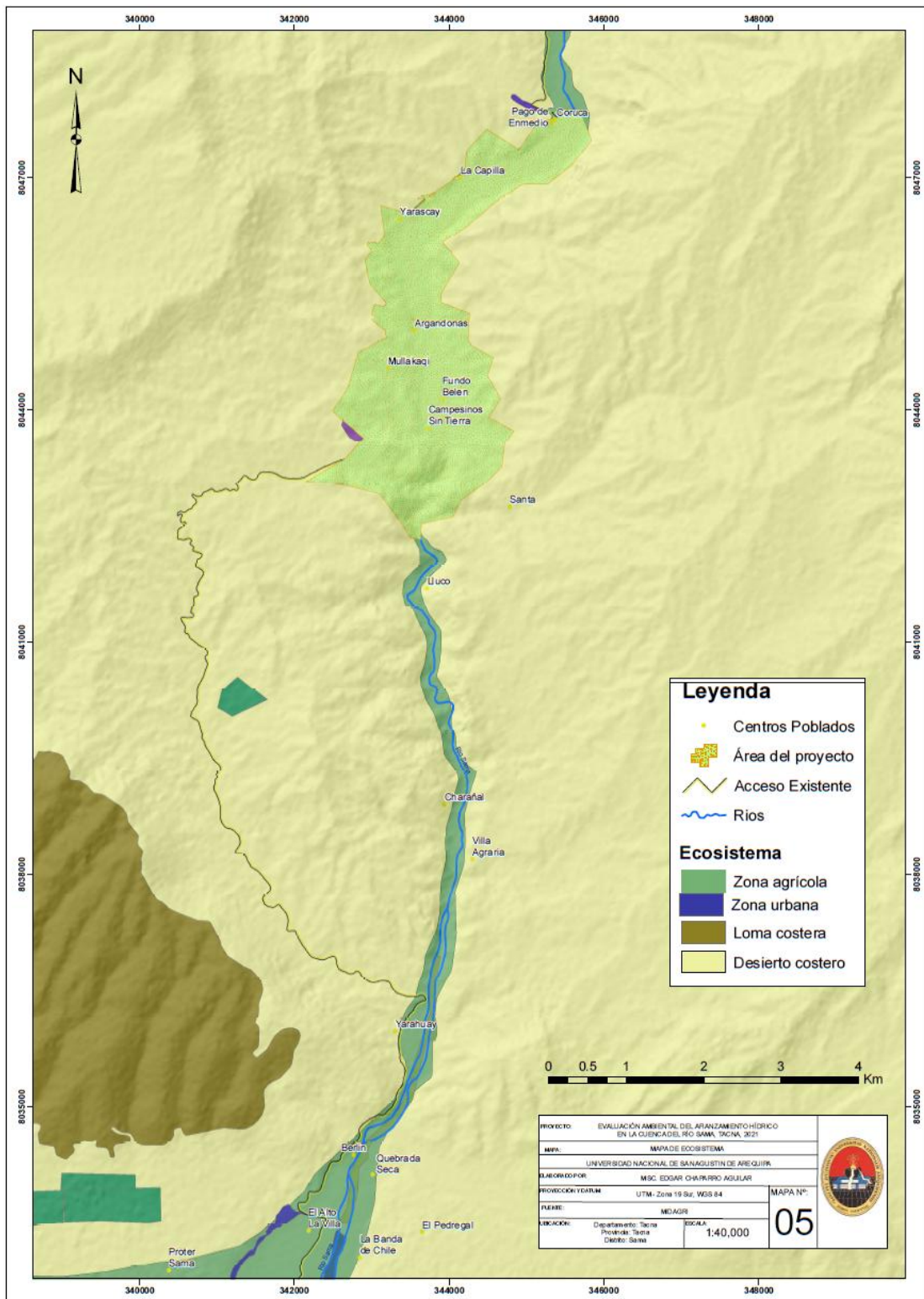


Anexo 3

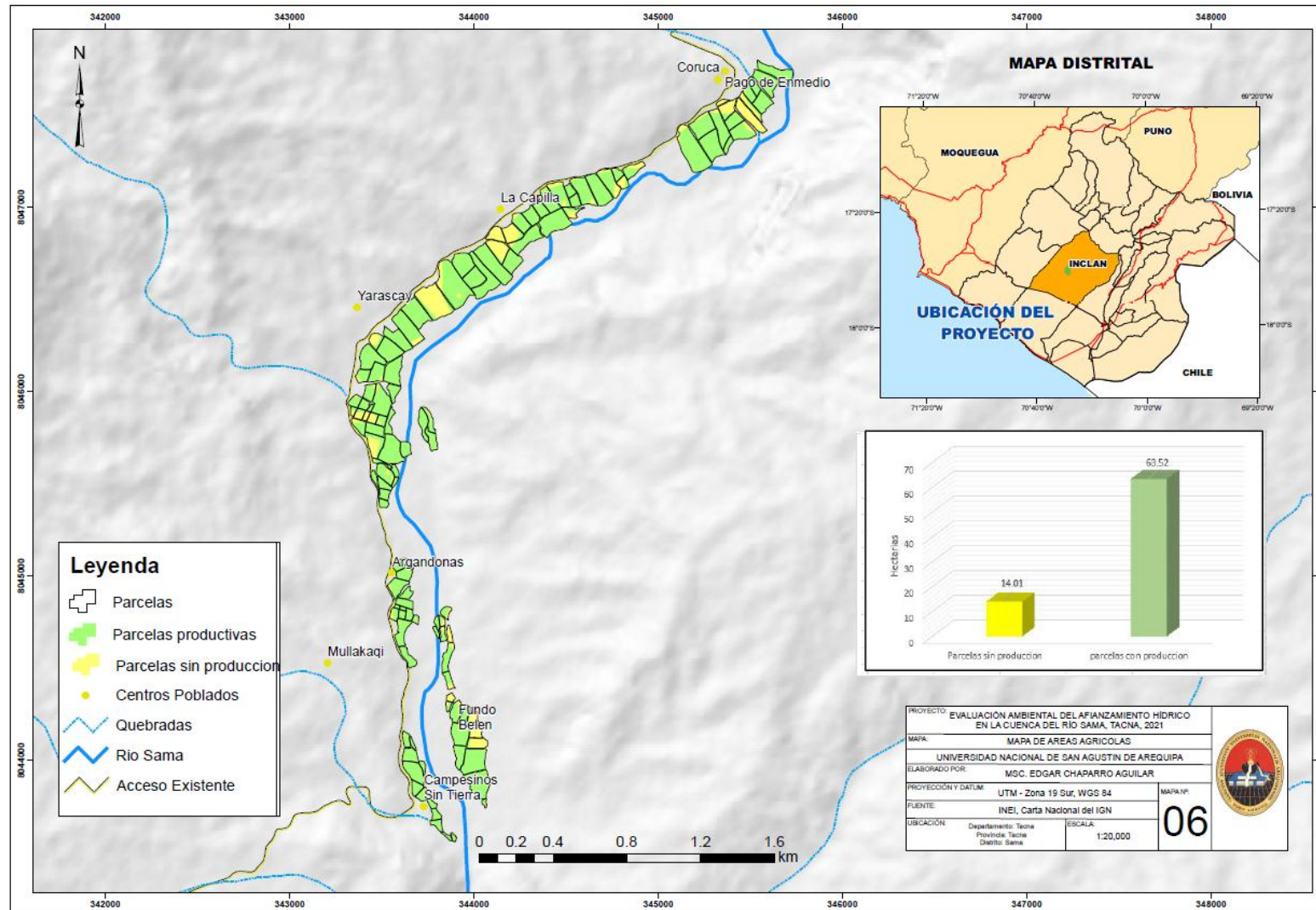
Mapa de evidencia arqueológica



Anexo 4 Mapa de ecosistemas

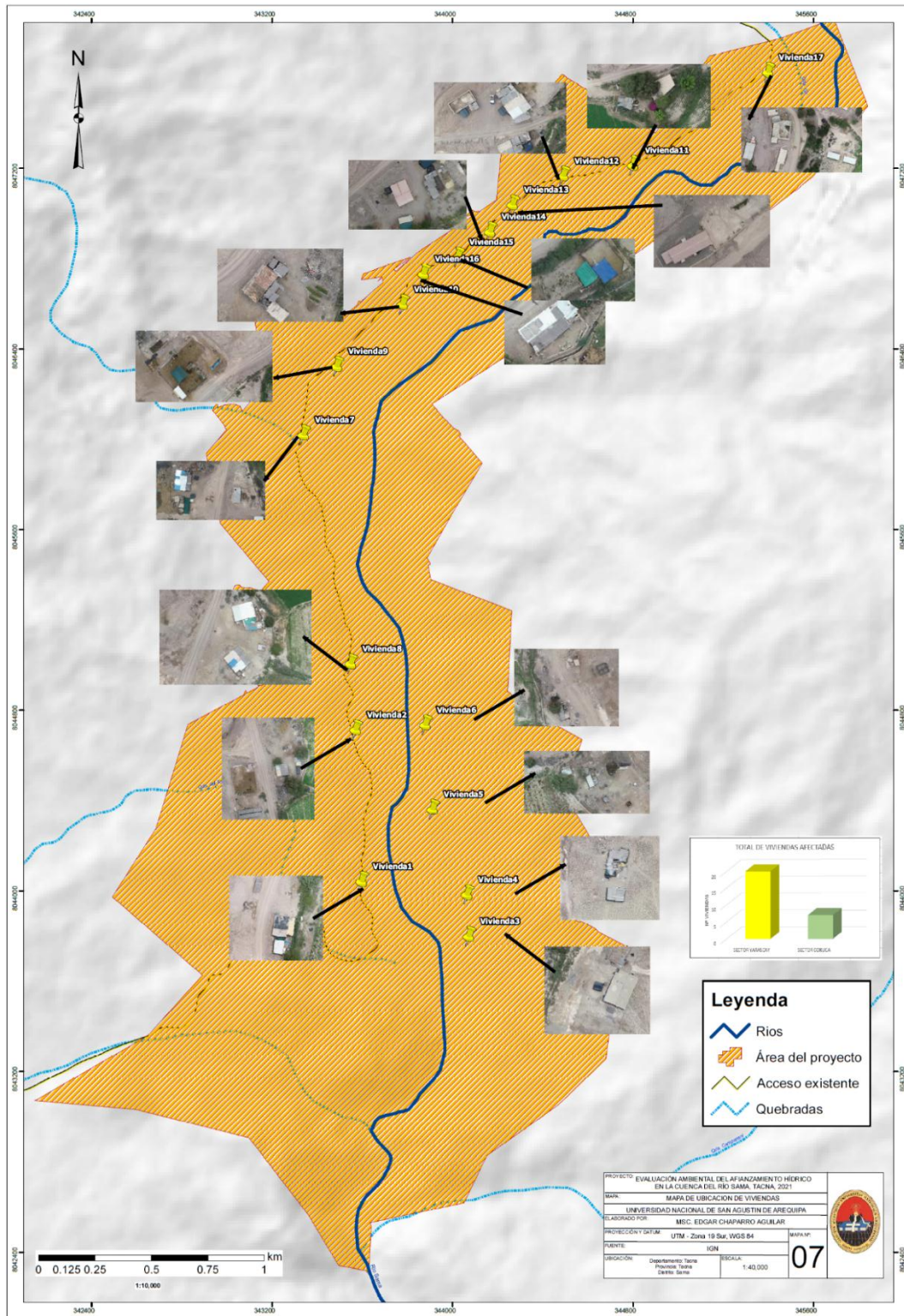


Anexo 5 Mapa de áreas agrícolas

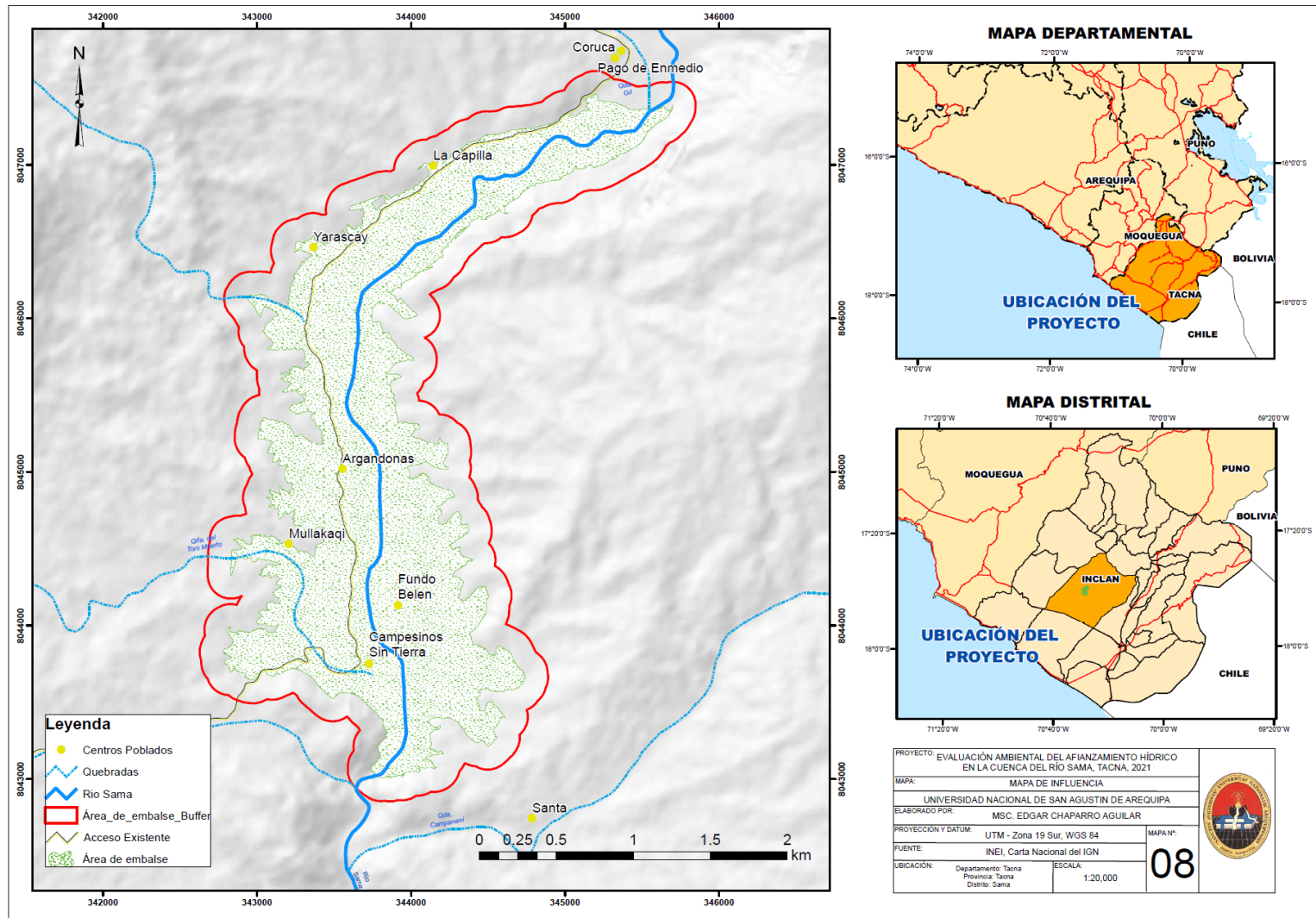


Anexo 6

Mapa de ubicación de viviendas



Anexo 7 Mapa de influencia del proyecto



Anexo 8
Propuesta de plan de manejo ambiental

PLAN DE MANEJO AMBIENTAL EN LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA PARA AFIANZAMIENTO HÍDRICO
EN LA ZONA DEL RÍO SAMA

PLAN DE MANEJO AMBIENTAL

Los impactos ambientales generados durante la construcción de la infraestructura para afianzamiento hídrico en la zona del río Sama requieren de la implementación de un Plan de Manejo Ambiental en el que se planteen una serie de medidas estructuradas en programas, que se orienten a la prevención, mitigación, corrección o compensación de los impactos ambientales con potencial ocurrencia.

1. Programa de manejo del camarón del río

1.1. El presente programa se propone con la finalidad de mitigar el impacto sobre la población del camarón del río (*Cryphiops caementarius*), en el río Sama.

La estrategia se basa en la implementación de un Programa de Desarrollo Sostenible que abarca en la ejecución de un grupo de subprogramas que permita sostener al camarón de río a través de la zona del embalse en la cuenca del río Sama.

Los Sub-programas a implementarse son:

1.2. Monitoreo del *Cryphiops caementarius* “camarón de río” y los parámetros físico-químicos del agua

La calidad del agua es prioridad no solo para la subsistencia de los camarones, sino también para conservar los niveles sanitarios convenientes para su crecimiento y desarrollo.

El agua es de buena calidad si tiene temperatura adecuada, oxígeno disuelto, pH, transparencia, plancton, etc. Se requiere de un equipo apropiado para estimar adecuadamente estos parámetros.

a) Temperatura

En general, los camarones de aguas tropicales pueden tolerar temperaturas entre 18 y 25 °C y aguas templadas por debajo de los 20 °C, debido a que *C. caementarius* es un

camarón de agua fría. La aceleración del metabolismo conduce a una mayor necesidad de alimentos y al deterioro de la calidad del agua debido a las altas concentraciones de desechos tóxicos.

Para medir la temperatura se recomienda hacerlo a primera hora de la mañana (6:00 a.m.) para determinar el enfriamiento nocturno y en horas de la tarde (6:00 p.m.) para estimar el calor producido por el sol.

b) Transparencia

La transparencia permite una mayor o menor penetración de la luz, este factor es importante en el desarrollo del fitoplancton, que es la base de la nutrición natural del estanque. La turbidez del agua limita la penetración de la luz, reduciendo la transparencia y por lo tanto la producción natural.

Una transparencia suficiente es cuando la palma de la mano ya no es visible cuando la mano se empuja en el agua unos 15 cm.

c) Amonio

Muchos compuestos nitrogenados son capaces de ocasionar problemas en flujo de agua del río, si éste se carga con cantidades considerables de materia orgánica, debido a la acumulación de fertilizantes, excretas y restos de alimento que pueden ser arrastrados por la corriente, los que generan severos problemas como es el déficit de oxígeno y la generación excesiva de amoníaco.

1.3. Generación de capacidades y talleres de sensibilización en el aprovechamiento del camarón de río

El trabajo realizado con las comunidades ribereñas fue conformado por los pescadores, agricultores, pobladores, etc., que realizan uso de los recursos hídricos e hidrobiológicos como el camarón de río. Por medio de la interacción entre los asistentes se logrará conseguir la comprensión y entendimiento de los beneficios que proyecto puede brindar a futuro.

En la primera fase, se plantea desarrollar capacidades y realizar talleres de concientización para conseguir un mejor aprovechamiento del camarón de río. De acuerdo a datos oficiales del Estado Peruano, el camarón de río presenta un claro déficit desde el 2005 y las asociaciones pesqueras parecen débiles para enfrentar el problema.

Con base en la metodología lúdica, se propone realizar al menos cuatro talleres de concientización, que podrían realizarse simultáneamente con el monitoreo y observación estacional, en lugares preseleccionados.

1.4. Repoblamiento Inter-cuenca y traslados Intro-cuenca

En las técnicas de conservación de la vida silvestre, la repoblación es un método utilizado para revertir el agotamiento de los recursos y garantizar el adecuado y buen aprovechamiento por parte de la población. En diferentes partes del mundo se ha desarrollado criaderos para diversas especies hidrobiológicas a fin de traer especímenes interesantes económicamente o para la conservación de la naturaleza al entorno natural. Estos esfuerzos dependen no solo de la reproducción exitosa de las especies en cautiverio, sino también de la capacidad de los individuos liberados para trasladarse a la naturaleza o repoblar áreas seleccionadas.

Para el caso de *C. Caementarius*, se siguen realizando medidas de repoblamiento con especímenes del medio natural. No obstante, hay que tener en cuenta que en un futuro el poblamiento se podrá realizar con muestras producidas en cautiverio.

1.5. Repoblamiento intercuenca

Esto se hace mediante el traslado de ejemplares de camarón de río de otros lugares que no sean la cuenca del río Sama. Este tipo de repoblamiento es útil cuando los estudios poblacionales de la cuenca y como parte del programa de manejo y estudios realizados por IMARPE y FONDEPES, muestran que los recursos están agotados y la vitalidad genética se reduce a la explotación excesiva y a los métodos inadecuados de extracción. Para este caso se trasladaran ejemplares originarios de cuencas ajenas a la cuenca de cuyo objetivo es el repoblamiento. Se propone movilizar por lo menos 100 000 juveniles de camarón de río entre 45-55 mm de longitud y 3-4 g de peso, de al menos tres lugares preseleccionados de las cuenca del río Locumba.

1.6. Repoblamiento intro-cuenca

Se realizará mediante el traslado de los ejemplares de la parte baja de la cuenca a otro sector dentro de la misma cuenca. Este tipo de repoblamiento es aplicado cuando existen barreras migratorias a causa de las actividades antrópicas como el uso bocatomas, acequias, puentes,

túneles, embalses, etc., que son necesarios para el desarrollo económico de la población que habita en la cuenca.

De la parte baja del río Sama, se plantea movilizar por lo menos 100 000 juveniles de camarón de río de 45-55 mm de longitud y 3-4 g de peso aproximadamente, los lugares de repoblamiento se seleccionarán de acuerdo al estudio de línea base y a las investigaciones realizadas por IMARPE, considerando los factores que afecten en los índices de concentración del recurso naturales por estrato altitudinal.

2. Programa de afectaciones y compensaciones

En el presente Programa se propone un plan de afectaciones y compensaciones el cual se ejecutará antes del inicio de obra del proyecto.

Saneamiento:

En la Zona del Embalse entre los sectores de Coruca y Yarascay se han identificado un total de 27 viviendas rústicas constituidas de material adobe, quincha de acuerdo al siguiente detalle:

Tabla 1

Identificación de viviendas

Nº	SECTOR	TOTAL DE VIVIENDAS - DICIEMBRE 2020	DISTRIBUCION %
1	AREA DE EMBALSE		
	<i>SECTOR YARASCAY</i>	20	74,1
	<i>SECTOR CORUCA</i>	7	25,9
	TOTAL	27	100,0

Producto de la construcción de la infraestructura hidráulica, conllevará a la afectación predial ya sea de predios inscritos, posesiones, o terrenos eriazos del Estado, de acuerdo a la siguiente distribución estimada:

Se deberá incluir lo siguiente:

- a. Se deberá definir si por la construcción de la presa para el embalse, se tendrá que realizar el reasentamiento involuntario de poblaciones asentadas en la zona de dicho componente, lo que implica la implementación de un plan de reasentamiento involuntario (PACRI); o se realizará un Programa de Gestión de Afectaciones (PGA).
- b. El PGA debe atender a los contemplar a las personas que hayan sido afectadas a consecuencia de la construcción del proyecto y/o cada uno de sus componentes. En caso se

plantee un plan de reasentamiento involuntario (PACRI), deberá considerarse a las poblaciones afectadas por la construcción de los componentes del Proyecto.

- c. Determinar el tipo de afectación: vivienda, predio urbano, predio rural.
- d. Enumerar todos los impactos en un cuadro agrupados según el centro político (localidad, distrito, provincia) al que pertenecen y/o comunidades campesinas. También se debe graficar (usando mapas o planos) el nivel de dispersión de todos los predios que podrían ser afectados.
- e. También se debe considerar el impacto en la infraestructura social, es decir, los servicios públicos como escuelas, centros de salud, instalaciones recreativas. Describir las actuales características de las infraestructuras sociales que presten los servicios públicos, señalando el número de usuarios, horarios de apertura, servicios alternativos en la zona, etc. Al mismo tiempo, debe señalarse si se afectan terrenos pertenecientes al Estado. A nivel conceptual se diseñan medidas que compensen o mitiguen el efecto de la inhabilitación de las mencionadas instituciones para los usuarios de los mencionados servicios.
- f. Por último, esto debe incluir la realización de talleres específicos con los pobladores afectados por el proyecto, para presentar el proyecto y las medidas que realizará el propietario para compensar por los daños a la propiedad.
- g. Si se establece que no se causaron daños a la propiedad porque los terrenos fueron enajenados por los municipios, el propietario deberá aportar un certificado en el que conste dicho acuerdo, en caso de daño deberá indemnizarse. El referido documento deberá contener evidencia que permita acreditar que las comunidades están dispuestas a entregar sus tierras mediante acción municipal, si es evidencia que la mayoría absoluta de los comuneros está de acuerdo con ello.

3. Programa de restauración ambiental

Este programa tiene como fin desarrollar estrategias y mecanismos para restaurar las zonas afectadas durante la construcción del proyecto. Para ello, se seguirá las siguientes acciones en concordancia con la R.D.E. N° 083 – 2018 – MINAGRI – SERFOR – DE.

3.1. Acciones a desarrollar

a) Sitios de intervención

Las acciones de revegetación estarán orientados a la restauración de los sitios disturbados por la ejecución del proyecto como: canteras (cantera de agregados ubicado aguas debajo de la zona de represamiento), campamento, botadero, vías de acceso temporal.

b) Selección de especies

En cada zona de revegetación se deberá establecer la vegetación de referencia a restaurar, tomando como punto de referencia la información de la línea de base, en el que se detallará las especies presentes en cada zona de intervención.

En todos los casos se priorizará el uso de especies nativas, particularmente las especies amenazadas o endémicas identificadas como *A. macracantha*, *H. prostrata*, *G. decorticans*, *E. salicifolia*, *P. pallida*.

Se deberá considerar el uso de especies de diferentes tipos de crecimiento y estadíos sucesionales (pioneras, intermedias y climácicas). Las especies a utilizar podrán ser *P. australis*, *P. chingoya*, *S. homboldtiana*, *P. aculeata*, *S. molle*, *A. macracantha*.

De forma complementaria, considerar los siguientes criterios de selección:

- Facilidad en la propagación mediante semillas o vegetativamente e ideal para producir plántulas para ser plantadas en 1 año por lo menos.
- Elevadas tasas de crecimiento y supervivencia al ser plantadas en sitios degradados.
- Sistema radicular extendido y profundo que asegure su enraizamiento.
- Rápida producción de biomasa para evitar el desarrollo de especies invasivas.
- Desarrollo temprano de flores, frutos y demás recursos para atraer fauna dispersora de semillas.
- Aumento del valor social y provisión de servicios ecosistémicos a corto, mediano y a largo plazo.

Las especies nativas están adaptadas a las condiciones locales; de modo que, no será necesaria una asistencia intensiva.

En la restauración del botadero, campamento se utilizarán especies como *H. decumbens*, *Nolana sp.*, entre otros, dependiendo de la facilidad de propagación de las especies.

c) Propagación de especies

- De todos los individuos de las diferentes especies que serán retirados producto de la construcción de los componentes del proyecto se colectarán las semillas para posterior regeneración. La colección será a partir de los individuos de mayor tamaño, follaje y vigor. Esta acción también se realizará en la zona del embalse, para tener la mayor variabilidad genética de semillas posible.
- La colección de las semillas se realizará en bolsas de plástico. Posteriormente se removerá las impurezas de manera mecánica. Las semillas deben recolectarse a partir del mayor número de individuos posible (por lo menos 30 individuos).
- Los ensayos de propagación deberán realizarse tanto en un vivero como in situ, para encontrar los mejores resultados.
- Para los ensayos de propagación in situ, se implementará parcelas experimentales sobre las cuales se realizarán pruebas de germinación, considerando monocultivos y policultivos.
- Para la siembra, se podrá aplicar siembra directa al voleo o a través de surcos, otros. Las técnicas de siembra estarán en función a las especies y a la pendiente. Para el caso de *T. werdermanni* se podrá aplicar técnicas de traslocación.

d) Preparación del sustrato

- Previo a la siembra de las especies será necesario estabilizar el sustrato con fines de asegurar la protección contra la erosión hídrica y eólica durante los primeros estadios de crecimiento de las especies. Para ello, se establecerá un mulch de heno o paja. En pendientes abruptas, el mulch podrá ser retenido por biomantas ancladas al terreno.

- En todos los casos se aplicará un proceso de restauración activa, en el que se mejorará el sustrato (disminución de la compactación por tránsito de maquinaria pesada) para posteriormente promover la regeneración pasiva o activa de la vegetación por semilla. Sin embargo, dependiendo de la especie podrá optarse por regeneración vegetativa.
- El sustrato a utilizar será el topsoil que previamente deberá ser retirado y almacenado de las zonas de intervención, pues esta capa de suelo contiene la mayor concentración de materia orgánica. De forma adicional, y dependiendo de las características del suelo, se podrá optar por la aplicación de fertilizantes naturales (compost, humus). De este modo, garantizar la probabilidad de reclutamiento de las especies.

e) Manejo de los sitios de restauración

- Para la reducción de la competencia de las especies de interés utilizadas en la restauración de los sitios perturbados, se deberá realizar acciones de remoción de las especies exóticas. Esto debido a que las especies exóticas suelen ser más competitivas y de mayor tasa de crecimiento que las nativas.
- Cuando sea necesario, se deberá realizar acciones de fertilización para incrementar la probabilidad de reclutamiento de las especies.
- En los sitios perturbados se cuidará a los individuos remanentes, pues estos pueden actuar como especies nodriza. De este modo, facilitar e incrementar el reclutamiento de las especies utilizadas en la restauración.

f) Monitoreo

- Los sitios restaurados deberán ser monitoreados durante cuatro años.
- Se deberá verificar la presencia de especies exóticas, individuos plantados o regenerados de manera natural (especie, diámetro, altura, densidad y diversidad). Se deberá remover a las especies exóticas para disminuir el nivel de competencia con las especies restauradas de interés.

- Como indicadores del proceso de restauración se evaluará: nivel de mortalidad, tasa de crecimiento, altura, diámetro, vigor, densidad y diversidad, de todos los individuos plantados.

4. Programa de relaciones comunitarias

El propósito de este programa es desarrollar estrategias y mecanismos para evitar conflictos sociales que puedan alterar el normal desarrollo de las actividades del proyecto. Asimismo, dentro de relaciones horizontales basadas en la reciprocidad, la apertura y el respeto a la población local, que permita conocer y gestionar adecuadamente las expectativas, inquietudes y necesidades del proyecto a lo largo del tiempo.

Objetivo general

Establecer un conjunto de procedimientos y/o mecanismos orientados para gestionar los impactos socioeconómicos y brindar aportes voluntarios a la comunidad, posibilitando relaciones armoniosas entre las poblaciones de las áreas de impacto del proyecto.

Objetivos específicos

- Ejecutar programas de acción que permitan la comunicación oportuna y adecuada entre la población y el propietario, teniendo en cuenta las características culturales de las personas presentes.
- Prevenir y mitigar posibles procesos o situaciones socialmente perjudiciales que puedan desencadenarse a causa de la ejecución del proyecto.
- Apoyar actividades encaminadas al desarrollo social/económico de la población del área de influencia del proyecto mediante alianzas estratégicas con los actores sociales identificados.

Los Sub-programas que deberían implementarse son los siguientes:

4.1. Programa de comunicación

En el subprograma de comunicación se han propuesto medidas de información y diálogo, que permitan formar canales de comunicación entre el propietario, el contratista y los actores del proyecto.

Estos mecanismos de comunicación permiten:

- Mantener reuniones con el propietario del proyecto y la población local para mantener un diálogo fluido entre todos los involucrados.
- Mantener permanente comunicación entre la población local mediante los presidentes de las comunidades y autoridades de los centros poblados de la zona afectada, así como con los representantes locales y regionales.
- Crear espacios y medios tener una comunicación fluida donde las comunidades nativas o centros poblados puedan dirigir sus inquietudes o denuncias.

a) Lineamientos y mecanismos del programa de comunicación

- Conformar un comité socioambiental, el que será conformado por los representantes de grupos de interés.
- Organizar reuniones o eventos extraordinarios con el comité, autoridades locales, representantes de los grupos de interés y población.
- Distribuir materiales informativos (volantes, trípticos), sobre los trabajos y avances del proyecto.
- Facilitar información sobre el manejo y ejecución de la obra a la población para evitar contratiempos o malos entendidos.

b) Mecanismos participativos

- Oficina de información, que brindara información mediante la apertura de oficina física en la población de interés, además brindando material de difusión (hojas plegables, volantes, afiches, revistas, avisos radiales, otros) que serán distribuidas en las zonas de influencia del proyecto.
- Buzones de sugerencias, instalación de buzón de sugerencias en la etapa de ejecución física de la obra.

4.2. Programa de atención de observaciones y resolución de conflictos

El objetivo de este programa es identificar y evaluar medidas para controlar, predecir y/o mitigar los impactos sociales que se presenten durante la fase de ejecución del proyecto. Esto es para asegurar la continuidad o efectividad de los programas desarrollados en el PCR. Para ello se realizará:

- Reuniones y entrevistas rápidas cada 3 meses, con autoridades locales, autoridades comunales, líderes, trabajadores del proyecto, funcionarios y habitantes en general, para dar a conocer las apreciaciones acerca de los efectos surgidos por la ejecución del proyecto.
- Verificar la información y registros de la empresa, realizados durante la ejecución de los programas.
- Registrar en una ficha de formato adecuado, lo hallado para ser elevado al área de relaciones comunitarias

4.3. Programa de contratación de mano de obra local

La población económicamente activa (PEA) y la desocupada son quienes principalmente se encuentran involucradas al programa, y sean mayores de 18 años. Los procedimientos específicos son los siguientes:

- Selección y reclutamiento de la mano de obra local
- La cantidad estimada de trabajadores que se distribuirán entre toda poblaciones del área afectada para así determinar las cuotas de mano de obra por localidad

4.4. Programa de apoyo local

El desarrollo local se promueve mediante la mejora de la calidad de vida de la población a través de la implementación de medidas encaminadas a incrementar la productividad de sus actividades fundamentales.

Por lo tanto, la implementación del programa se lleva a cabo en la fase de construcción y operación del proyecto.

4.5. Programa de monitoreo participativo

El presente subprograma tiene la finalidad de incorporar la participación de la población del área afectada en el las acciones monitoreo socioambiental y control ambiental.

El sistema de monitoreo participativo se organiza mediante los siguientes procedimientos:

a) Actividades

Coordinar con las autoridades locales o representantes de las poblaciones vinculadas al Área de Influencia Directa (AID), elegidos por la población y sus autoridades.

Los criterios que se deben tener en cuenta al seleccionar los monitores o vigilantes son:

- Ser residente de la comunidad dentro del área de influencia del proyecto y estar acreditado.
- Ser mayor de edad y ser capaz de emprender encargos de responsabilidad.
- Preferiblemente saber leer y escribir.
- De preferencia bilingües en el idioma nativo y español.

Los integrantes del comité de monitoreo y vigilancia ciudadana participan en todo el proceso de relacionamiento comunitario, para que puedan intercambiar información entre sí, revisar el estado de las obligaciones socioambientales y si fuese necesario, conciliar desacuerdos o quejas que se hayan presentado.

b) Curso de capacitación en monitoreo y vigilancia ciudadana

El proceso de capacitación se desarrolla para los integrantes del comité de monitoreo y vigilancia ciudadana, representantes de las comunidades del Área de Influencia del Proyecto, los temas de la capacitación estarán relacionados con su rol y los objetivos de trabajo, así como en la gestión y manejo técnicas de recopilación de información a través de registros diseñados específicamente para el manejo de los miembros.

Al desarrollar la capacitación, es importante incluir los conocimientos de los miembros del comité, y así aprender y opinar sobre fundamentos teórico-prácticos, y agregar temas que se consideren necesarios.

Como parte de la capacitación, los miembros del comité visitan el Área de Influencia del Proyecto y las instalaciones de superficie del proyecto para obtener una visión real del campo.

Se propone realizar un curso de capacitación para comprender los conceptos de negociación y compensación. Al final de este curso, se definirán medidas para la participación de la comisión en las negociaciones, para la compensación en las comunidades.

c) Trabajo de monitoreo y vigilancia ciudadana

Realizar la elaboración del plan de trabajo de monitoreos; este plan debe incluir un cronograma de visitas de los monitores a los lugares donde se llevarán a cabo las actividades del proyecto.

La tarea de todo monitoreo ambiental es controlar y registrar el cumplimiento de las medidas ambientales y la transmisión de hechos y recomendaciones a los actores relevantes (propietario, población local) ya a los entes de Supervisión del Estado de control independiente y veraz.

Además, los monitoreos interactúan de acuerdo a los registros ya existentes, con la finalidad de ver el problema de la corriente fluvial por los ríos implicados.

Registro del trabajo, actas e informes reportando el incidente y lo acontecido (en caso existiese).

5. Programa de monitoreo ambiental

El Plan va a permitir la evaluación eficiente de las medidas correctivas y preventivas propuestas para reducir los impactos ambientales negativos acatando la legislación vigente nacional e internacional y la atención de la población beneficiaria. Además, el programa de monitoreo de los componentes del medio ambiente nos permitirá también evidenciar el grado de contaminación que puede generarse por el desarrollo de las actividades.

5.1. Monitoreo de calidad de agua

El monitoreo de calidad de agua se realizará a fin de hacer un seguimiento y control del componente físicos y microbiológico del agua del área de influencia, que podrían resultar afectados por las actividades que se realicen en el proyecto.

a) Parámetros a monitorear

Los parámetros a monitorear serán los establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental para Agua en cumplimiento al D.S. N°004-2017-MINAM, para riego vegetal y bebidas de animales.

Tabla 2*ECA para monitoreo de agua superficial categoría 3*

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
FÍSICOS- QUÍMICOS				
Cloruros	mg/L	500		**
Conductividad	(μ S/cm)	2500		5000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	15		15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40		40
Fluoruros	mg/L	1		**
Nitratos (NO ₃ -N) + Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	100		100
Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	10		10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4		≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6.5-8.5		6.5-8.4
Sulfatos	mg/L	1000		1000
Temperatura	°C	$\Delta 3$		$\Delta 3$
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	5		5
Arsénico	mg/L	0.1		0.2
Bario	mg/L	0.7		**
Berilio	mg/L	0.1		0.1
Boro	mg/L	1		5
Cadmio	mg/L	0.01		0.05
Cobre	mg/L	0.2		0.5
Cobalto	mg/L	0.05		1
Cromo Total	mg/L	0.1		1
Hierro	mg/L	5		**
Litio	mg/L	2.5		2.5
Magnesio	mg/L	**		250
Manganeso	mg/L	0.2		0.2
Mercurio	mg/L	0.001		0.01
Níquel	mg/L	0.2		1
Plomo	mg/L	0.05		0.05
Selenio	mg/L	0.02		0.05
Zinc	mg/L	2		24

Fuente: MINAM, Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM – Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias (2017)

b) Ubicación de las estaciones de monitoreo

Se desarrollará el monitoreo durante la ejecución de la obra; a la mitad de la ejecución y al finalizar la obra, de acuerdo a la Guía para la realización de monitoreo ambiental en el sector agrario, a continuación, se describe las estaciones de monitoreo mínima de las aguas superficiales a implementarse:

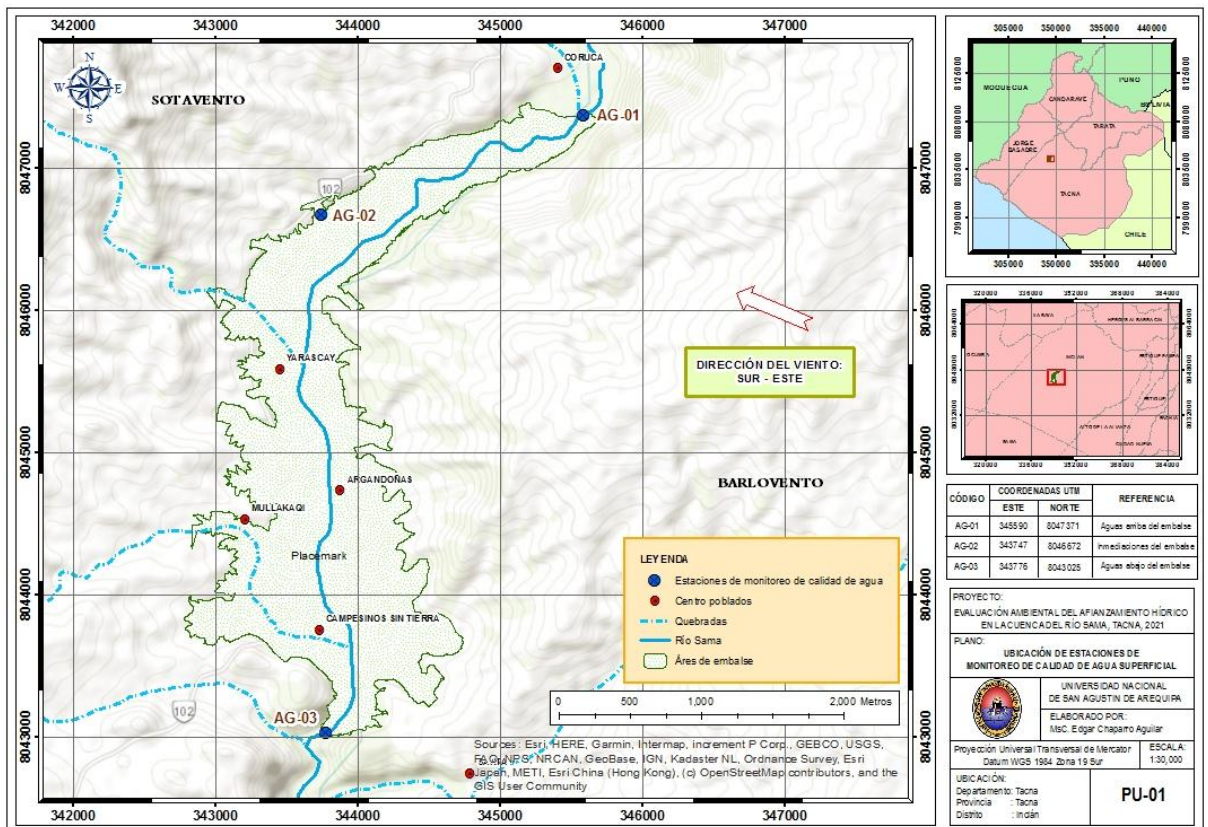
Tabla 3

Estaciones de monitoreo de la calidad de agua superficial

Código de estación de monitoreo	Referencia de ubicación	Coordenadas UTM	
		Este	Norte
AG-01	Aguas arriba del embalse	345590	8047371
AG-02	Inmediaciones del embalse	343747	8046672
AG-03	Aguas abajo del embalse	343776	8043025

Figura 1

Mapa de estaciones de monitoreo de calidad de agua superficial



5.2. Monitoreo de calidad de aire

Durante las diferentes actividades del proyecto, se tiene previsto el uso de maquinarias y equipos quienes estarán en constante desplazamiento, conllevando a la generación de gases atmosféricos y de material particulado en suspensión, perjudicial para la salud de la persona y el ambiente.

a) Parámetros a monitorear

El monitoreo de la calidad del aire requiere el cumplimiento de los estándares de calidad ambiental aprobado mediante Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Aire D.S. N°003-2017-MINAM, Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire y establecen Disposiciones Complementarias.

Tabla 4

Parámetros de monitoreo de calidad de aire

Parámetros	Periodo	Valor ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Criterios de evaluación
PM ₁₀	24 Horas	100	No exceder más de 7 veces al año
	Anual	50	Media aritmética anual
PM _{2.5}	24 Horas	50	No exceder más de 7 veces al año
	Anual	25	Media aritmética anual
(Dióxido de Azufre) SO ₂	24 Horas	250	No exceder más de 7 veces al año
(Dióxido de Nitrógeno) NO ₂	1 Hora	200	No exceder más de 24 veces al año
	Anual	100	Media aritmética Anual
(Monóxido de Carbono) CO	1 Hora	30 000	No exceder más de 1 vez al año
	8 Horas	10 000	Media aritmética Anual
Sulfuro de Hidrógeno (H ₂ S)	24 Horas	150	Media Aritmética
Ozono (O ₃)	8 Horas	100	Máxima media diaria NE más de 24 veces al año
Benceno (C ₆ H ₆)	Anual	2	Media aritmética anual
Plomo (Pb) en PM ₁₀	Mensual	1,5	Media Aritmética de los valores mensuales
	Anual	0,5	Media Aritmética

Fuente: MINAM, Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM – Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire y establecen Disposiciones Complementarias (2017)

b) Ubicación de las estaciones de monitoreo

La supervisión se realiza durante la ejecución de las obras; a la mitad de la ejecución y al culminar la obra, dependiendo del comportamiento de la velocidad y dirección del viento.

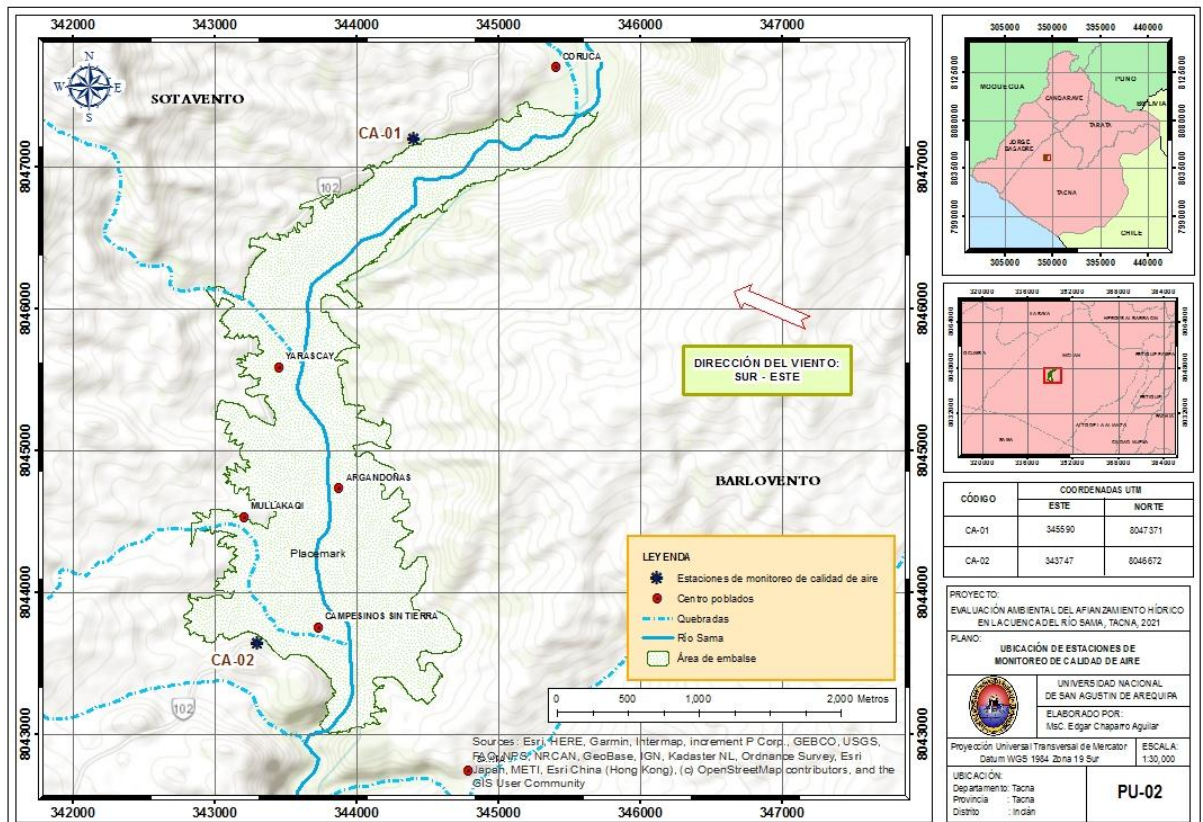
Tabla 5

Estaciones de monitoreo de la calidad de aire

Código de estación de monitoreo	Coordenadas UTM	
	Este	Norte
CA-01	345590	8047371
CA-02	343747	8046672

Figura 2

Mapa de estaciones de monitoreo de calidad de aire



5.3. Monitoreo de calidad de ruido ambiental

Se prevé que, durante las etapas del proyecto, se generará ruido y con el objetivo de proteger la salud de las personas y su entorno en cumplimiento con las normativas vigentes.

a) Parámetros a monitorear

El monitoreo de la calidad de ruido ambiental estará sujeto al cumplimiento de los estándares de calidad ambiental aprobado mediante Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido D.S. N°085-2003-PCM.

Tabla 6

Estaciones de monitoreo de la calidad de agua superficial

Zonas de Aplicación	Valores expresados en L_{AeqT}	
	Horario Diurno (07:01 – 22:00)	Horario Nocturno (22:01 – 07:00)
Zona de Protección Especial	50	40
Zona Residencial	60	50
Zona Comercial	70	60
Zona Industrial	80	70

b) Ubicación de las estaciones de monitoreo

Se realizará el monitoreo durante la ejecución de la obra; a la mitad de la ejecución y al finalizar la obra, en las siguientes estaciones:

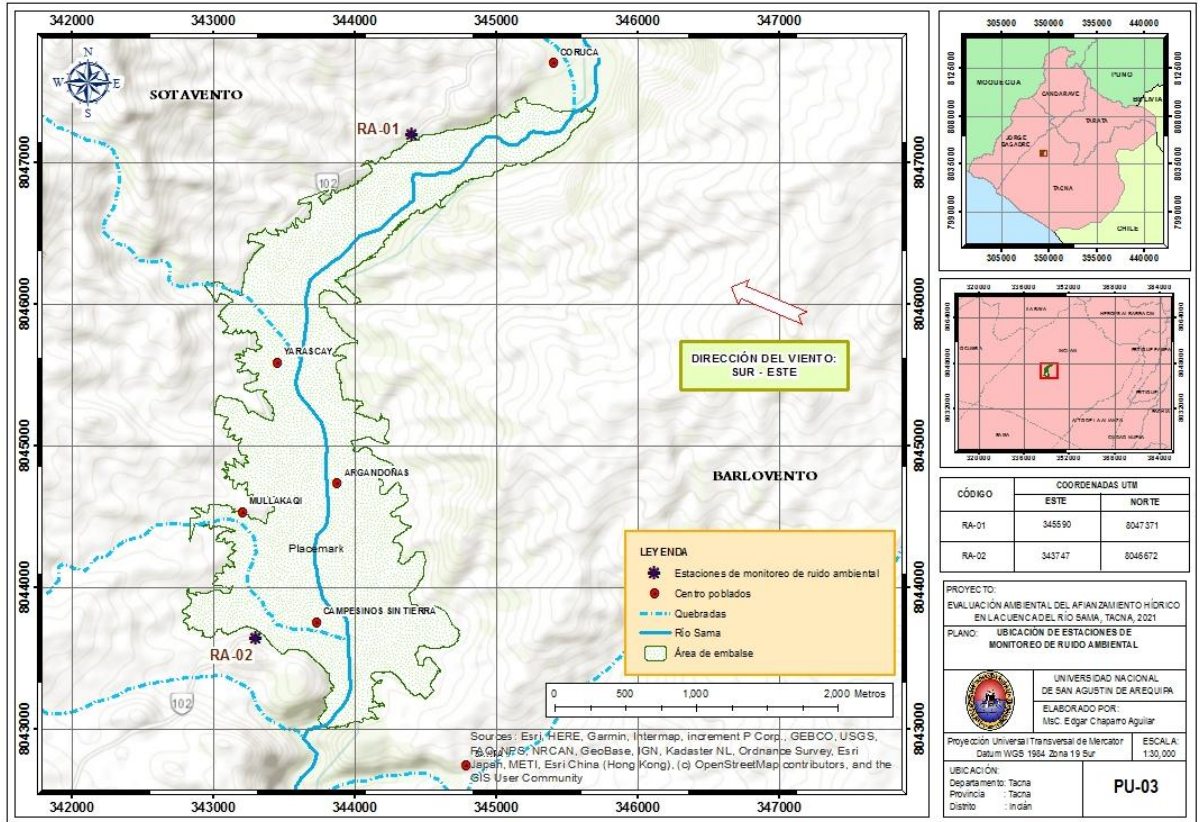
Tabla 7

Estaciones de monitoreo de ruido ambiental

Código de estación de monitoreo	Coordenadas UTM	
	Este	Norte
RA-01	345590	8047371
RA-02	343747	8046672

Figura 3

Mapa de estaciones de monitoreo de ruido ambiental



5.4. Monitoreo de flora y fauna

El monitoreo de flora y fauna permitirá evaluar y comparar los resultados obtenidos para identificar posibles alteraciones. Después de evaluar la información la información obtenida esto permitirá si es necesario implementar las medidas de prevención y/o prevención.

La determinación de la cantidad de puntos de muestreo se ha basa en los siguientes criterios:

- La representatividad (%) de la cobertura vegetal respecto al área de influencia ambiental del proyecto.
- Distribución proporcional de los puntos de muestreo, en torno a las actividades a desarrollar en el área efectiva del proyecto.
- Finalmente, considerando las áreas con menor intervención antrópica, pero cuya ubicación represente los componentes del proyecto.

- En función de estos criterios, se determinó la evaluación de los puntos de muestreo biológico dentro de la cobertura vegetal identificada en el área de estudio y el componente del proyecto. Entiéndase por puntos de muestreo biológico, para fines del presente estudio, como las áreas donde se distribuyen los transectos, puntos de conteo, VES, de cada grupo taxonómico, en función del componente biológico a evaluar.
- Asimismo, considerando el tipo de hábitat y cobertura vegetal identificada en el área de estudio, se propone las metodologías de muestreo, que permitiría registrar cualitativamente de los grupos biológicos a evaluar.

6. Programa de minimización y manejo de residuos sólidos

El presente programa se propone con el fin de obtener una correcta gestión y manejo de los residuos sólidos durante la ejecución del proyecto. El manejo de los residuos sólidos se realizará en cumplimiento del Decreto Legislativo N° 1278 “Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos”, y su Reglamento aprobado bajo el Decreto Supremo 014-2017 MINAM.

Además, el programa tiene alcance para las fases de generación, almacenamiento y recolección primaria de los residuos sólidos que se generarán, precisando que la recolección definitiva, transporte y disposición final de los residuos, se harán a través de una EO-RS (Empresa Operadora de Residuos Sólidos), debidamente autorizada.

6.1. Acciones a desarrollar

Es preciso establecer prácticas preventivas que se emplearán para el manejo adecuado de los residuos generados en las diferentes etapas del proyecto, prácticas (reducción de residuos sólidos generados en la fuente, valorización de los residuos sólidos materiales y energéticos, disposición final adecuada) que serán determinadas teniendo en cuenta los tipos de residuos que se generen, estableciendo un apropiado sistema de clasificación, almacenamiento y recolección (interna); así como cumpliendo los dispositivos legales vigentes para la recolección definitiva, transporte y disposición final de los residuos.

6.2. Manejo de residuos sólidos

a) Implementación de contenedores y manejo de residuos sólidos

Se deberán ubicar los contenedores estratégicamente un área visible del proyecto. Estos contenedores estarán debidamente rotulados.





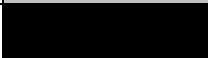


La disposición de los contenedores se dará con sus tapas correspondientes, con la finalidad de que los residuos no se encuentren expuestos a la intemperie y sean colocados sobre una estructura de madera o geomembrana.

Los contenedores a utilizar pueden ser tachos de plástico del tipo vaivén, del tipo o forma cilíndrica, tipo sansón de 140 y/o 80 litros, tipo cajón con abertura vaivén.

Los colores considerados para los contenedores de acuerdo a la Norma Técnica Peruana 900.058.2019, debidamente codificados, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 8

Codificación de colores según la Norma Técnica Peruana NTP 900-058-2019

Tipos de Residuos	Color de Recipiente	
Metales	Amarillo	
Papeles y cartones	Azul	
Plásticos	Blanco	
Vidrio	Plomo	
No Re aprovechables	Negro	
Orgánicos	Marrón	
Peligrosos	Rojo	

Fuente: Norma Técnica Peruana 900.058.2019

b) Almacenamiento temporal de residuos sólidos

Los residuos sólidos temporalmente deberán almacenarse en un lugar fijo de fácil acceso, el cual deberá presentar un techo, un cerco o protección perimetral, protegido por bandejas metálicas o geomembrana para impedir el discurrir de los líquidos al suelo o fuentes de agua, además de contar con sus respectivas identificaciones y señalizaciones.

En lo supuesto a la generación de los residuos sólidos peligrosos durante las etapas del proyecto deberán almacenarse en contenedores de color rojo temporalmente y se realizará una contratación de una Empresa Operadora de Residuos Sólidos (EO-RS) registrada ante MINAM, quien se encargará desde su recojo hasta su disposición final.

c) Manejo de residuos sólidos peligrosos

En el supuesto que se genere residuos peligrosos durante las etapas del proyecto, deberán ser almacenados en contenedores apropiados en un lugar especial y posterior separación y retiro posteriormente deben ser dispuestos para un manejo adecuado por parte de una EO-RS al final del tiempo de la vida útil del proyecto. Se actuará de acuerdo a lo establecido por la Ley general de residuos sólidos. Según la NTP 900-058-2019, clasifica los residuos sólidos peligroso incompatibles para el almacenamiento, se recomienda cumplir con el reglamento, para evitar problemas posteriores.

d) Transporte y disposición final de residuos sólidos

Durante las etapas del proyecto se realizará el traslado y la disposición final de los residuos sólidos generados, estos serán evacuados por una EO-RS con los debidos registros ante en el Ministerio del Ambiente – MINAM.

e) Actividades de minimización de la generación de los residuos sólidos

- Minimizar en todas sus formas posibles la generación de residuos, maximizando la utilización de los diversos productos y materiales que utilizamos.
- Adquisición o modificación de materias primas o insumos de producción. Se deberá identificar los materiales e insumos que puedan ser reemplazados por otros que no generen o produzcan menos de residuos no deseados o peligrosos. Para ello se deberá verificar las fichas de seguridad.
- Adquisición de productos que contengan un mínimo contenido de envolturas y embalajes, productos comestibles y papel.
- Realizar charlas enfocadas al cuidado de materiales y minimización de residuos sólidos.

7. Programa de manejo de aguas residuales

Este programa está basado en procedimientos para la minimización, segregación, almacenaje, transporte y disposición final de los residuos generados durante las fases del proyecto. Para ello, se tendrá en consideración los tipos de residuos generados, características del área y las posibilidades de reciclado, tratamiento y almacenamiento final en instalaciones.

Las medidas pertinentes para la prevención o mitigación de la contaminación por vertimiento de aguas residuales domésticas, se contará con una EO-RS responsable de los baños químicos portátiles, asimismo, por las características propias del proyecto no se generarán efluentes.

Medidas a implementar para los efluentes domésticos

- Los efluentes generados se relacionan con las aguas residuales domésticas debido al uso de servicios higiénicos y al aseo del personal, por tanto, se ha visto necesario la contratación del servicio de baños químicos portátiles.
- Los baños químicos portátiles cumplen con los más altos estándares de calidad e higiene del mundo y son completamente independientes en su funcionamiento. Fabricado en polietileno de alta densidad y resistentes. Con depósito de agua limpia y bomba de descarga para el lavado del inodoro, separados del depósito de agua sucia en el que se deposita el producto químico biodegradable.
- El manejo y la disposición final de los efluentes provenientes de los baños portátiles se realizará a través de una EO-RS autorizada por MINAM, por ello, se solicitará el respectivo certificado de disposición final de los desechos. La limpieza de los baños químicos se realizará de forma Inter diaria y la frecuencia de recojo de las excretas o residuos líquidos será mensual, por lo que, toda la gestión estará a cargo de la propia empresa que alquile los baños portátiles químicos a utilizarse en el proyecto.

8. Programa de educación ambiental

El programa debe contemplar la ejecución de campañas de índole educativa y conservación ambiental, siendo dirigido por el responsable de la aplicación del Plan de Manejo Ambiental, a al personal laboral del proyecto y a la población local, en función a normativas vigentes de seguridad, higiene y comportamiento de orden ambiental.

El proceso educativo ambiental será impartido a través de la realización de charlas, afiches informativos, u otro instrumento que posibilite el uso por parte de todos los trabajadores y población. Se efectuará a través de coordinaciones directas con el personal ejecutor de la obra asegurando la disponibilidad de equipos y mobiliario para la exposición y la comodidad de los asistentes.

Para ello, deberá ejecutarse en forma permanente durante el desarrollo de ejecución del proyecto, podrá ser desarrollado previo al inicio de las obras, repitiéndose una vez al mes, a fin de tratar lo siguiente:

Tabla 9

Desarrollo del programa de educación ambiental

Beneficiarios	Personal
Temática	Se incluirá los siguientes temas: Capacitación y sensibilización en temas de contaminación ambiental - Contaminación del aire, suelo y agua. Capacitación y sensibilización ambiental en temas de manejo y tratamiento de residuos - Residuos sólidos - Políticas de las 3Rs - Material peligroso, derrames de insumos químicos
Frecuencia	01 capacitación a todo el personal antes de inicio de obras Charlas diarias sobre seguridad en el trabajo dirigidas por un supervisor antes del inicio de la jornada laboral
Insumos	Útiles de escritorio Material informativo
Responsable	Especialista Ambiental

9. Programa de señalización ambiental

El objetivo de este programa es implementar elementos que permitan la comunicación visual y la concientización sobre seguridad vial y sustentabilidad ambiental entre los trabajadores de la construcción, población local y/o usuarios de las vías locales y minimizar los riesgos potenciales de impacto. Debido al impacto de diversas actividades del proyecto sobre la integridad física de los usuarios de la vía y los componentes ambientales. En este sentido, se aplican señales direccionales estratégicamente ubicadas en diferentes frentes de trabajo, las mismas que tienen carácter informativo, preventivo y reglamentario.

a) Acciones a desarrollar

- La señalización deberá ser clara y sencilla, evitando los detalles innecesarios que imposibiliten su comprensión, excepto en situaciones que lo justifiquen.
- Se señalarán los sectores de la zona de trabajo que, por su inseguridad, cercanía a las actividades del proyecto, que simbolizan un riesgo potencial de accidentes.

- Se colocarán carteles de concientización ambiental que brinden instrucciones o mensajes sobre la protección o mejora del medio ambiente en los lugares requeridos en el área del proyecto.
- Los lugares para colocar la señalización son fácilmente accesibles y visibles.
- Las dimensiones de las señalizaciones y sus características colorimétricas y fotométricas aseguran una excelente visualización y comprensión. Para ello se utilizan colores fosforescentes o materiales fluorescentes.
- El personal del proyecto, la población del área de influencia del proyecto y los usuarios de la vía están obligados a seguir las señales ambientales implementadas.

b) Criterios para la implementación de la señalización

Las señales de acceso y trabajo deben desarrollarse de acuerdo con los siguientes criterios:

- Ubicación de las intersecciones y cruces con objetos ambientalmente importantes, etc.
- Obras de control en cauces de ríos y/o lugares donde exista riesgo de contaminación de fuentes de agua.
- Cuando se realicen trabajos de excavación en la línea de avance, el área excavada debe estar completamente aislada (el área debe estar delimitada con cinta o red) y deben pegarse avisos temporales preventivos e informativos sobre los trabajos que se están realizando.
- La implementación de la señalización especificada en el presente programa será verificada por el jefe de SSMA del Proyecto.

c) Colores de las señales de seguridad y ambiental

Los colores de seguridad se muestran en la siguiente tabla, que indica el color y su significado. Las características colorimétricas y fotométricas de los materiales deben ajustarse a lo indicado en el Anexo A de la Norma Técnica Peruana NTP 399.010.

Tabla 10*Colores de señales de seguridad y ambiental*

Color	Significado	Indicaciones
Rojo	Señal de prohibición	Comportamientos peligrosos.
	Peligro - alarma	Alto, parada, dispositivos de desconexión de emergencia. Evacuación.
	Material y equipo de lucha contra incendios	Identificación y localización.
Amarillo o anaranjado	Señal de advertencia	Atención, precaución, verificación.
Azul	Señal de obligación	Comportamiento o acción específica. Obligación de utilizar un equipo de protección individual.
Verde	Señal de salvamento o auxilio	Puertas, salidas, pasajes, material, puestos de salvamento o de socorro, locales.
	Situación de seguridad	Vuelta a la normalidad.

Fuente: INACAL, Norma Técnica Peruana NTP 399.010-1 (2016)

Cuando el color de fondo sobre el que se va a utilizar el color de seguridad puede dificultar la identificación de este último, se debe utilizar un color de contraste que enmarque o se alterne con el color de seguridad, de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla 11*Colores de contraste*

Color de Seguridad	Color de Contraste
Rojo	Blanco
Amarillo anaranjado	Negro
Azul	Blanco
Verde	Blanco

d) Tipos de señales*Por el tipo de función*

- Señales de advertencia: De forma triangular, pictograma negro sobre fondo amarillo (cubriendo este el 50 % de la superficie de la señal) y borde negro.

- Señales de prohibición: De forma redonda, pictograma negro sobre fondo blanco, bordes y banda transversal descendente de izquierda a derecha, rojos.
- Señales de obligación: De forma circular, pictograma blanco sobre fondo azul y borde azul.
- Señales relacionadas con extintores (equipos de lucha contra incendios): Forma rectangulares o cuadradas. Pictograma blanco sobre fondo rojo (el rojo debe cubrir al menos el 50 % de la superficie de la señal).
- Señales de rescate o peligro: Los tipos de señalización descritos son temporales. Asimismo, estas señalizaciones están directamente relacionados con las actividades del proyecto y se colocan en áreas de explotación, DME y áreas de trabajo en general.
- Señalización ambiental: Se colocan en sectores vulnerables a las actividades del proyecto, para dar información a los grupos de personas que habitan cerca al área de impacto inmediato (Área de Influencia Directa) sobre la problemática o situación específica identificada en dichos sectores.

Por el tipo de mensaje

- Señales preventivas: Su finalidad es advertir a los usuarios de la vía de un posible peligro y su naturaleza.
- Señales de prohibición: Plantea limitaciones, restricciones o prohibiciones que rigen el uso del camino vecinal.
- Señales informativas: Son las que guían a los usuarios de la vía durante su viaje, brindándoles información sobre ubicaciones, rutas, direcciones, distancias, servicios, etc.

e) Señalización propuesta

La señalización propuesta en el proyecto se refiere principalmente a la colocación de carteles dirigidos a todos los empleados del proyecto con mensajes relacionados con el respeto al medio ambiente y la prevención de accidentes. Para conocer la ubicación exacta de las señales ambientales se tuvo en cuenta el conocimiento de las medidas de mejora del estado de las carreteras. En ese sentido, algunas de las consideraciones y criterios que se tomaron para la localización de las señalizaciones se indican a continuación:

- Labores de maniobras en lugares donde exista riesgo de impactos ambientales de fuentes de agua.
- Ubicación de zonas pobladas, colegios y otros.

En razón a las características del tipo de proyecto, las señalizaciones ambientales serán constantemente trasladadas a los diferentes frentes de obra, teniendo en consideración las actividades que se desarrollarán y las áreas donde se desarrollan dichas actividades.





Descripción	Dimensiones
	2500 mm x 850 mm
	1650 mm x 850 mm
	1850 mm x 850 mm

10. Programa de manejo de recursos naturales

El presente programa tiene como finalidad implementar las acciones que deben ejecutarse para el cuidado de los recursos naturales; en ese sentido, se plantean medidas para la protección y conservación de los recursos hídricos. También se proponen medidas para la protección y conservación de la calidad de suelo y flora del área de influencia del proyecto.

10.1. Medidas para la conservación del suelo

- El mantenimiento de las máquinas, vehículos y equipos debe realizarse únicamente en las áreas designadas, el suelo debe ser compactado e impermeabilizado con un piso de concreto.
- Las maquinarias y los vehículos deben contar con empaques de respaldo (ej. material oleofílico) en caso de derrame de combustible y/o lubricante.
- Como mitigación del vertido o derrame, el suelo contaminado deberá ser removido un máximo de 10 cm por debajo del nivel alcanzado por la contaminación para su posterior remoción.
- Realizar el mantenimiento periódico de maquinarias y vehículos para eliminar cualquier anomalía mecánica.
- Los residuos sólidos producidos durante la excavación no deben ser almacenados ni desechados en cualquier lugar (en ladera o en barrancos secos). Son transportados y dispuestos en un relleno sanitario debidamente autorizado y registrado por la autoridad sanitaria para no provocar derrumbes y erosiones posteriores.
- Los residuos de limpieza generados por el almacenamiento temporal deben ser caracterizados, clasificados, almacenados y transportados para su disposición final por una EO-RS debidamente registrada en el Ministerio de Salud.
- Los materiales contaminantes derramados accidentalmente, como lubricantes o residuos de combustibles, deben ser recogidos inmediatamente para su tratamiento. La tierra debe ser removida no más de 10 cm por debajo del nivel de contaminación. Este traslado y disposición final es realizado por EO-RS.
- Los residuos líquidos aceitosos se depositan en recipientes herméticos ubicados en el área de almacenamiento, los cuales no se derraman en el suelo. Si hay suelo o suelo contaminado con aceite, se recolecta y transfiere al contenedor apropiado, luego de lo cual se transfiere al tratamiento final de EO-RS.
- Se rehabilitará los caminos de acceso existentes y se utilizarán para reducir los cambios de suelo por el movimiento de vehículos y material durante las obras.

10.2. Medidas de protección del recurso hídrico

Este programa será aplicado durante la etapa de construcción. Se aplicarán las siguientes medidas

- No arrojar desechos ni material excedente a los cursos de agua.
- Las áreas seleccionadas para la instalación de campamentos deberá contar con los sistemas de tratamiento de aguas residuales.
- La limpieza y mantenimiento de maquinarias, vehículos y equipos y la recarga de combustible, se realizará solamente en los talleres autorizados para este fin existentes en los centros poblados cercanos; con el propósito de evitar posibles derrames a los cuerpos de aguas existentes.
- La preparación del concreto se realiza en áreas alejadas de los cuerpos de agua.
- Colocación de carteles informativos y preventivos en el frente de trabajo.
- Se instalan contenedores herméticos para la disposición de residuos de aceites y lubricantes utilizados en los lugares de trabajo, así como en líneas eléctricas, subestaciones y edificios auxiliares (bodegas, oficinas y taller de máquinas).
- Los restos de materiales de construcción (cemento, hormigón fresco, barro, arcilla) no tienen destino final en el cuerpo de agua, estos restos son retirados en contenedores, que luego son trasladados con una EO-RS debidamente registrada en el Ministerio de Salud.
- Los materiales de construcción no deben colocarse cerca de las orillas de las fuentes de agua para evitar su arrastre.
- Se irrigarán las áreas de trabajo y las vías de acceso y se controlarán las velocidades de los vehículos livianos y pesados para minimizar los impactos en las fuentes de agua cercanas debido al aumento de partículas.
- Está prohibido lavar máquinas y vehículos de la unidad ejecutiva en ríos o arroyos.

10.3. Medidas de manejo para la fauna silvestre

A continuación, se listan las medidas de manejo consideradas para la mitigación de los impactos potenciales sobre la fauna silvestre en el área de influencia indirecta del proyecto:

- Se implementarán diferentes medidas ante la presencia de la fauna silvestre, referidas a reducir la generación de niveles de ruido que a su vez les afecta.
- Como parte de las actividades se rehabilitarán las diferentes áreas, con lo cual se espera que las especies retornen a la zona de manera natural y progresivamente.
- Se prohibirá a los trabajadores y pobladores la caza de animales silvestres, en la etapa de construcción y operación del proyecto.

a) Control del estrés de fauna

Este programa será aplicado durante las etapas de construcción, operación y mantenimiento, y cierre del proyecto. Se aplicarán las siguientes medidas ante la presencia de la fauna silvestre:

- El desarrollo de las actividades de construcción se limita al área de trabajo para minimizar los efectos sobre el medio biológico.
- Los trabajos de construcción se realizan preferentemente durante el día, porque es durante estas horas que la vida silvestre en el área es menos activa.
- Señalizar y separar los frentes de trabajo para no ocupar áreas fuera de las actividades del proyecto, minimizando así la perturbación a la fauna terrestre.

b) Control de la migración de fauna

El desarrollo de actividades constructivas queda limitada al área de trabajo, con la finalidad de minimizar los impactos sobre el medio biológico.

- Limitar las actividades de construcción estrictamente al área de campamentos, depósitos excesivos de material, evitando así posibles afectaciones al hábitat de los animales terrestres (áreas de descanso, refugios).
- Informar al personal del proyecto sobre las características de la fauna terrestre que habita en la zona para evitar medidas innecesarias en caso de observación.
- Los caminos o senderos existentes deben utilizarse tanto como sea posible para minimizar los impactos sobre la vida silvestre.

- Queda estrictamente prohibida la caza de animales y la recolección y/o restauración de otra vida silvestre por parte de los empleados de la unidad administrativa en el área del proyecto y sus áreas aledañas.

10.4. Medidas de manejo para la flora silvestre

Se implementará un plan para ubicar zonas donde se pueda realizar la propagación de especies de flora silvestre que ayuden en la protección de suelos y mejoramiento de la ecología del paisaje, tomando en cuenta las siguientes actividades:

- Se realizará una remoción y trasplante de especies arbustivas, estas especies serán recolectadas de zonas cercanas al área del proyecto donde se haya identificado cobertura vegetal.
- Se tendrá una restricción de velocidad máxima en los caminos de acceso del área del proyecto de 40 km/h, a fin de reducir la generación de material particulado que pudiera afectar la vegetación que viene siendo trasplantada.
- Con este fin también se realizará el riego de las vías para controlar el polvo, en la época de estiaje.

Control del desbroce de la vegetación

Las medidas de mitigación que serán aplicadas ante los posibles impactos sobre la cobertura vegetal estará en función al tipo de formación vegetal identificada en el área de estudio, y serán aplicadas básicamente durante la etapa de construcción. Sobre esta base se aplicará las siguientes medidas:

- Limitar el corte de vegetación al área de infraestructura y sólo si impide el desarrollo de las actividades de construcción.
- Evitar el desbroce innecesario de vegetación fuera de la infraestructura e instalaciones temporales.
- Colocar señales informativas en los lugares de trabajo con vegetación típica, para que los trabajadores sean conscientes de los perjuicios que ocasionarán al retirar estas especies innecesariamente.
- Se prohíbe a los trabajadores del proyecto realizar actividades de limpieza y movimiento fuera de las áreas permitidas.

- Se prohíbe la quema de cualquier material orgánico.
- Las instalaciones temporales deben ubicarse preferentemente en áreas con poca vegetación y menor valor estético paisajístico.
- Los cortes de vegetación limpieza y desbroce deben hacerse con herramientas manuales si es posible y bajo ninguna circunstancia se debe usar maquinaria pesada para no dañar la vegetación y el suelo existentes.

10.5. Medidas para evitar la afectación del paisaje

A fin de preservar el paisaje acorde a la naturaleza, en el área de influencia directa del proyecto, la empresa contratista deberá ceñirse estrictamente a realizar sus actividades dentro del ancho de intervención necesario (optimizar el uso del área de trabajo).

Se deberá realizar un adecuado manejo de los residuos sólidos, y estos deben ser recolectados en los contenedores respectivos, para luego ser dispuestos en una planta autorizada.

Una vez culminado el proyecto, se deberá realizar la limpieza de toda área intervenida.

11. Programa de salud y seguridad en el trabajo

El Programa de Seguridad y Salud Ocupacional en el trabajo incluye normas, especificaciones, planes, procedimientos e instructivos que son aplicables a las actividades que realiza el titular del proyecto y que tienen por objeto prevenir, controlar o minimizar posibles afectaciones (personas, equipos, materiales, medio ambiente) que surge en relación con la implementación de su proyecto.

Acciones a desarrollar

- Todos los trabajadores contratados deben pasar un examen médico para identificar enfermedades que amenazan la salud.
- El contratista garantiza que todos sus empleados gozan de buena salud y condición física y libre de problemas de salud.
- El contratista proporciona agua potable, baños y ropa para sus trabajadores locales.
- Las lesiones causadas por cortes y/o rasguños deben recibir ayuda inmediata.

- La exposición o exposición a sustancias químicas tóxicas o peligrosas debe informarse de inmediato y tomarse las medidas correctivas apropiadas.
- Se debe evitar permanecer al sol durante las épocas más calurosas. Si es necesario trabajar con luz solar excesiva, se debe usar protección tanto para la cabeza como para el cuerpo.
- De igual forma, se implementan las siguientes medidas de seguridad en el sitio y en general en el frente de trabajo.
- Es necesario prevenir, mitigar y/o controlar los efectos adversos en el aire (gases, partículas y ruido), suelo, agua, cultivos, pastoreo y otros en atención a la población local que habita en el área inmediatamente afectada. La implantación de las medidas preventivas, mitigadoras o correctoras previstas en los distintos programas de medidas de este capítulo.
- Realizando la señalización tanto de seguridad para la población como de protección del medio ambiental de forma adecuada en los frentes de trabajo, en las zonas de cruces adyacentes al emplazamiento de la carretera; así como, en áreas de actividad de cultivos y/o de pastoreo.
- El Contratista y/o subcontratistas deberán desarrollar buenas relaciones con los pobladores que viven en el área de influencia directa del emplazamiento de la carretera departamental a mejorar.

12. Programa de manejo de combustible y lubricantes

Este programa tiene como fin prevenir, mitigar y reducir los impactos potenciales que producirá por el uso de combustibles y lubricantes en diferentes actividades del proyecto, brindando un adecuado manejo en la prevención de riesgos ambientales y protección de la salud.

Acciones a desarrollar

En el manejo de combustibles y lubricantes deben observarse las siguientes precauciones:

- Deben estar colocados sobre una superficie estable y nivelada para evitar caídas y alejados de cuerpos de agua, y deben tener un sistema de aislamiento de salpicaduras con base adecuadamente impermeable.
- Esta área debe estar debidamente señalizada para prohibir realizar fuego o fumar.

- Los vehículos y/o máquinas se llenan de combustible con bombas manuales y tuberías en buen estado, durante este proceso también se apagan los vehículos y se conducen en lugares protegidos contra posibles fugas.
- Si hay fugas de combustible o lubricante, se remueve el suelo y se arroja a los contenedores respectivos.
- Deben estar disponibles los extintores contra incendios de productos químicos secos.
- Los empleados deben estar capacitados en el manejo de combustible y prevención de incendios.
- Al final de la obra se desmontará y limpiará el área, tras lo cual se procede a mover la tierra y renovar su vegetación.

13. Programa de manejo de explosivos

El propósito de este programa es prevenir, mitigar y reducir los efectos potenciales del uso de explosivos durante la fase de ejecución del proyecto, brindando una gestión adecuada para prevenir riesgos ambientales y proteger la salud pública.

Acciones a desarrollar

El transporte, almacenamiento y uso de explosivos y detonadores deberá realizarse de acuerdo con las especificaciones establecidas por la División de Armas Civiles, Municiones y Control de Explosivos (DICSCAMEC) y de acuerdo con la práctica habitual de la industria.

Cabe señalar que para los trabajos de voladura, se debe contratar a una empresa especialista que será elaborar y dar cumplimiento al Plan de trabajo de Perforación y Voladura.

a) Transporte

Para transportar material explosivo se debe cumplir con las siguientes medidas:

- Los vehículos utilizados para el transporte de explosivos deben tener un mantenimiento adecuado (mecánico y eléctrico) y deben ser inspeccionados periódicamente.
- Los vehículos antes de transportar el material explosivo deben previamente ser cargados con combustible.

- Los vehículos utilizados para el transporte de explosivos deben tener por lo menos dos extintores de 2,5 kg, cargados y en buen estado.
- Los vehículos que transporten explosivos tienen evitar circular o detenerse cerca de centros de población.
- El personal de seguridad debe controlar el transporte de explosivos desde los puntos de recepción hasta el destino final.
- La solicitud de suministro de explosivos debe incluirse en los trabajos de referencia, donde se indique el nombre del operador de la unidad de transporte, el nombre del proveedor, la cantidad solicitada y la confirmación de la cantidad especificada durante el transporte, especificando también el recibo.
- No se transportan explosivos junto con objetos metálicos, sustancias inflamables o corrosivas, ni en los bolsillos de los trabajadores.

b) Almacenamiento

El contratista toma la decisión de construir un polvorín, de lo contrario utilizará el local existente para almacenar explosivos. Si decide construir un polvorín, debe cumplir con los requisitos técnicos de DICSCAMEC. Consta de dos contenedores: uno para explosivos primarios (mechas de seguridad y fulminantes) y otro para explosivos secundarios (dinamita). Ambos deben estar ubicados al menos a 500 metros de los depósitos de combustible o áreas residenciales cercanas. La revista debe tener extintores.

El polvorín debe estar cercado y señalizado, vigilado las 24 horas del día y sólo puede acceder a él personal autorizado. Se instalan contenedores en cada esquina sobre una base de cemento para ventilar los pisos. El piso, paredes y techo de ambos deben estar revestidos de madera, su distancia es de 50 m, el contenedor de los detonadores debe tener bisagras de bronce u otro metal no inflamable para permitir que el personal autorizado la mueva.

c) Uso

El personal encargado del manipuleo y operación de los explosivos deberá estar registrado en la DICSCAMEC.

- Las voladuras deben realizarse preferentemente al final de la jornada y debidamente anunciadas, debiendo colocarse carteles a ambos lados de la vía por donde se realicen los disparos y en todos los posibles lugares por donde transiten personas y/o vehículos.
- Los paquetes explosivos deben abrirse fuera del almacén, lejos de todas las fuentes de ignición y sin el uso de herramientas que produzcan chispas.
- No se utilizarán explosivos vencidos o vencidos. Puede optar por devolver el material al fabricante o destruirlo, lo que debe hacerse bajo supervisión y de acuerdo con las instrucciones del fabricante.
- Para el control de inventario, y la entrada y salida de material explosivo al almacén y la cantidad utilizada en el proyecto Las actividades deben ser registradas.
- No se debe quemar el material utilizado para envolver o embalar explosivos.
- El trabajo es realizado por empleados con equipo de seguridad adecuado.
- Además, en aquellos lugares donde sea necesario romper piedras para ensanchar el camino (cortes en los taludes laterales del camino), se deben tomar las siguientes medidas:
 - Se quitaron las piedras sueltas de los taludes antes y después de cada disparo.
 - Usar técnicas de voladuras controladas (número de explosivos, cuadrícula de perforación, secuencia de disparo), limitando el ruido y la vibración de la voladura y la protuberancia de rocas.
 - La construcción de la rejilla de perforación y voladura debe ser tal que el muro final resultante del talud sea lo más estable posible, es decir, minimiza el exceso de ruptura.
 - Además, todo el personal y la población circundante deben ser informados del tiroteo colocando marcadores a ambos lados del tiroteo.