

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
ESCUELA DE POSGRADO



**Business Consulting: Rehabilitación de Amunas para Mitigar la Escasez
del Recurso Hídrico en las Centrales Hidroeléctricas Matucana y
Callahuanca de Orygen Perú (antes Enel Generación Perú)**

**TESIS PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRA EN
ADMINISTRACIÓN DE LA ENERGÍA OTORGADO POR LA
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

PRESENTADA POR:

Mary Carmen Dominguez Benites

Alejandra Lovatón Haaman

**TESIS PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN
ADMINISTRACIÓN DE LA ENERGÍA OTORGADO POR LA
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

PRESENTADA POR:

Sergio Andres Garamendi Camilhuaga

Christiam Paul Ramirez Saavedra

ASESOR

Óscar Alberto Uribe Laines

Surco, febrero 2025

Declaración Jurada de Autenticidad


Yo, Oscar Alberto Uribe Laines, docente de la Facultad de la Escuela de Negocios Centrum PUCP de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor de la tesis de investigación titulado: Business Consulting: Rehabilitación de amunas para mitigar la escasez del recurso hídrico en las centrales hidroeléctricas Matucana y Callahuanca de ORYGEN PERÚ (antes Enel Generación Perú), de los autores:

- Mary Carmen Dominguez Benites, DNI: 47186966
- Sergio Andres Garamendi Camilhuaga, DNI: 46740114
- Alejandra Lovaton Haaman, DNI:43520869
- Christiam Paul Ramirez Saavedra, DNI: 46617143

dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 19%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 11/02/2025.
- He revisado con detalle dicho reporte y confirmo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio alguno.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lima, 11 de febrero de 2025

Apellidos y nombres del asesor: <u>Uribe Laines, Oscar Alberto</u>	
DNI:10487319	Firma 
ORCID: 0000-0001-9689-5213	

Agradecimientos

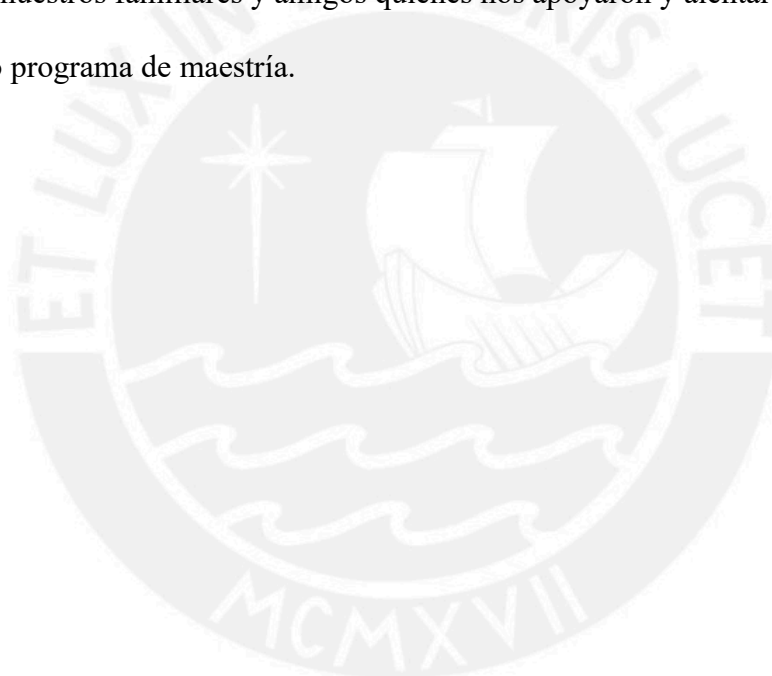
Expresamos nuestro agradecimiento a:

A Orygen Perú por permitirnos realizar el trabajo de consultoría y su apoyo constante en la búsqueda de mejoras sostenibles para la compañía.

A nuestro asesor Oscar Uribe Laines por ser nuestro guía y mentor permitiéndonos superar cada desafío.

A CENTRUM y a los profesores que a través de sus enseñanzas y orientación nos ayudaron a crecer profesional y personalmente.

A todos nuestros familiares y amigos quienes nos apoyaron y alentaron a continuar y concluir nuestro programa de maestría.



Dedicatorias

A Dios por ser mi guía en cada uno de mis proyectos, a mis padres y hermanos por ser mi fuerza, mi refugio y mi inspiración. A mi abuelo Pedro, cuya memoria y pasión por la energía viven en cada uno de mis logros; este sueño es también suyo.

Mary Carmen Dominguez

A mis padres, quienes han sido mis guías y el más grande ejemplo a lo largo de mi vida.

Sergio Garamendi

A Dios por permitirme bendecir siempre mi vida, a mi esposo y mis hijos, Alejandro y Luca, por ser mi principal fortaleza. A mis padres, porque su energía y su ayuda son los elementos con los que estoy logrando este sueño.

Alejandra Lovatón

A mis padres, quienes han sido mis primeros y más grandes guías en el camino hacia el conocimiento, inculcándome el valor del esfuerzo y la dedicación. A mi compañera de vida, Leandra Araujo, mi más firme apoyo y fuente de inspiración, quien con su apoyo incondicional y constante ha sido mi mayor fortaleza y base de cada paso en este recorrido académico.

Christiam Ramirez

Resumen Ejecutivo

La escasez de recursos hídricos en el estiaje en las centrales hidroeléctricas de Orygen Perú, antes Enel Generación, representa un desafío crítico para la sostenibilidad de la generación de energía. Este problema está impulsado por la variabilidad climática, la competencia por el uso del agua con la agricultura y el consumo humano, y la gestión ineficiente del recurso. Según la Memoria Anual de Enel Generación 2023, aproximadamente el 40 % de la generación de energía de la empresa proviene de plantas hidroeléctricas, y esta producción disminuye aproximadamente un 16% en periodo de estiaje con respecto al periodo de avenida.

La solución propuesta en este estudio es la rehabilitación de 20km de amunas, sistemas ancestrales que infiltran el agua durante la temporada de lluvias para que esta resurja durante la temporada seca, mejorando la disponibilidad de agua con un bajo impacto ambiental. La inversión estimada es de S/ 3,279,000.00, con un VAN proyectado de S/ 4,307,479.00 y una TIR de 33.1 %. El VAN social es de S/ 15'129,945.00, alineado con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU.

El proyecto beneficiará a las comunidades locales de la provincia de Huarochirí, departamento de Lima, generando empleo, promoviendo técnicas hídricas ancestrales y fortaleciendo el ecosistema de la cuenca. Además, mejorará el abastecimiento de agua potable en la ciudad y fomentará la colaboración entre Orygen, SEDAPAL y otros actores para una gestión hídrica integral.

Abstract

Water resource scarcity during the dry season in the hydroelectric plants of Orygen Perú, formerly Enel Generación, presents a critical challenge for sustainable energy generation. This issue is driven by climate variability, competition for water use with agriculture and human consumption, and inefficient resource management. According to the 2023 Annual Report of Enel Generación, approximately 40% of the company's energy generation comes from hydroelectric plants, and this output decreases by about 16% during the dry season compared to the rainy season.

The solution proposed in this study is the rehabilitation of 20 km of amunas, ancestral systems that infiltrate water during the rainy season to ensure it resurfaces during the dry season, thereby improving water availability with minimal environmental impact. The estimated investment is S/ 3,279,000.00, with a projected NPV of S/ 4,307,479.00 and an IRR of 33.1%. The social NPV is S/ 15,129,945.00, aligned with the UN Sustainable Development Goals.

The project will benefit local Huarochiri's communities by creating jobs, promoting ancestral water management techniques, and strengthening the basin ecosystem. Additionally, it will improve the city's potable water supply and foster collaboration between Orygen, SEDAPAL, and other stakeholders for integrated water resource management.

Tabla de Contenidos

Lista de Tablas	x
Lista de Figuras	xi
Capítulo I: Situación General de la Organización	1
1.1. Presentación de la Organización.....	1
1.2. Análisis de la Industria (las Cinco Fuerzas de Porter)	3
1.2.1. Rivalidad Entre Competidores del Mercado.....	3
1.2.2. Amenazas de Nuevos Competidores	4
1.2.3. Amenazas de Productos Sustitutos	4
1.2.4. Poder de Negociación de los Clientes	5
1.2.5. Poder de Negociación de los Proveedores	6
1.3. Análisis del Contexto de la Empresa (Oportunidades y Amenazas)	7
1.3.1. Oportunidades.....	7
1.3.2. Amenazas	8
1.4. Análisis del Contexto Interno de la Empresa (Fortalezas y Debilidades).....	11
1.4.1. Fortalezas	11
1.4.2. Debilidades	13
1.4.3. Análisis PESTEL	14
1.4.4. Análisis AMOFHIT.....	16
1.5. Resumen del Capítulo	18
Capítulo II: Problema Relevante.....	20
2.1. Problema Identificado.....	20
2.2. Sustancia del Problema	23
2.3. Ubicación del Problema.....	26
2.4. Propiedad del Problema	26
2.5. Magnitud del Problema.....	28
2.6. Perspectiva Temporal del Problema	28
2.7. Implicancias Sociales del Problema	28
2.8. Resumen del Capítulo	31
Capítulo III: Análisis Cuantitativo / Cualitativo	32
3.1. Análisis Cuantitativo.....	32
3.2. Análisis Cualitativo	37
3.3. Resumen del Capítulo.....	39
Capítulo IV: Análisis de la Causa Raíz del Problema	40
4.1. Causas Identificadas	40

4.1.1.	<i>Causas Naturales</i>	40
4.1.2.	<i>Cambios en los Patrones Climáticos</i>	40
4.1.3.	<i>Fenómenos Meteorológicos Extremos</i>	41
4.1.4.	<i>Causas Sociales</i>	41
4.1.5.	<i>Crecimiento Poblacional</i>	42
4.1.6.	<i>Competencia por el Uso del Agua</i>	42
4.1.7.	<i>Gestión Ineficiente del Agua</i>	43
4.2.	Diagrama de Ishikawa	43
4.3.	Principales Causas del Problema	44
4.4.	Resumen del Capítulo	46
Capítulo V: Alternativas de Solución Evaluadas		48
5.1.	Alternativas para Resolver el Problema	48
5.1.1.	<i>Rehabilitación de Amunas para la Cosecha de Agua</i>	48
5.1.2.	<i>Construcción de Embalse de Almacenamiento de Agua</i>	49
5.2.	Evaluación de alternativas	51
5.2.1.	<i>Rehabilitación de Amunas para la Cosecha de Agua</i>	51
5.3.	Matriz de Complejidad vs Beneficio	56
5.3.1.	<i>Viabilidad Técnica</i>	56
5.3.2.	<i>Impacto Ambiental</i>	57
5.3.3.	<i>Costo</i>	57
5.3.4.	<i>Beneficio</i>	57
5.3.5.	<i>Tiempo de Implementación</i>	58
5.4.	Resumen del Capítulo	59
Capítulo VI: Solución Propuesta		61
6.1	Geolocalización y Características de las Amunas	61
6.2	Resumen del Capítulo	67
Capítulo VII: Plan de Implementación y Factores Clave de Éxito		69
7.1.	Diagrama de Gantt de Implementación	69
7.2.	Presupuesto	74
7.3.	Factores Clave para el Éxito	77
7.4.	Resumen del Capítulo	79
Capítulo VIII: Resultados Esperados		81
8.1.	Resultados Esperados	81
8.2.	Resultados Esperados en el Frente Social Vinculado	85
8.2.1.	<i>Valor Social Vinculado a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)</i>	90

8.3. Resumen del Capítulo.....	92
Capítulo IX: Conclusiones y Recomendaciones	93
Apéndice A: Entrevista Realizada	105
Apéndice B: Las Amunas	109
Apéndice C: Efecto de una Amuna en la Producción de Energía Hidroeléctrica	112
Apéndice D: Cálculo del Costo de Capital Promedio Ponderado (CCPP, WACC)	117



Lista de Tablas

Tabla 1	<i>Centrales por Tipo y Ubicación</i>	2
Tabla 2	<i>Principales Indicadores de Orygen Perú</i>	3
Tabla 3	<i>Principales Competidores del Sector Generación</i>	4
Tabla 4	<i>Distribución Clientes Orygen Perú Según Potencia Suministrada y Tipo Contratación en Marzo 2024 (en KW)</i>	5
Tabla 5	<i>Análisis PESTEL de Orygen Perú</i>	15
Tabla 6	<i>Análisis AMOFHIT de Orygen Perú</i>	16
Tabla 7	<i>Conflictos Sociales Vinculados a Recursos Hídricos, 2011-2014</i>	30
Tabla 8	<i>Matriz Priorización</i>	45
Tabla 9	<i>Análisis de Matriz de Complejidad vs Beneficio</i>	58
Tabla 10	<i>Características Centrales Hidroeléctricas Orygen en la Cuenca Río Rímac</i>	63
Tabla 11	<i>Periodo de Ejecución en Rehabilitación de Amunas</i>	70
Tabla 12	<i>Cronograma para la Implementación de 20 km de Amunas</i>	72
Tabla 13	<i>Resumen de Costos Inversión (S/)</i>	74
Tabla 14	<i>Costos de Fase 1: Planificación y Diagnóstico (S/)</i>	75
Tabla 15	<i>Costos de Fase 2: Expediente Técnico (ET) y Estudio Definitivo (ED) (S/)</i>	75
Tabla 16	<i>Costos de Fase 3: Proceso de Convocatoria de Obra (S/)</i>	75
Tabla 17	<i>Costos de Fase 4: Ejecución Obra (S/)</i>	76
Tabla 18	<i>Costos de Fase 5: Monitoreo y Liquidación de Obra (S/)</i>	76
Tabla 19	<i>Resumen de Costos Mantenimiento Post Implementación (S/)</i>	77
Tabla 20	<i>Energía Adicional Generada por la Central Hidroeléctrica Matucana y Callahuanca</i>	82
Tabla 21	<i>Datos de Entrada para Cálculo de Flujo de Caja Libre</i>	83
Tabla 22	<i>Flujo de Caja Libre para Reforzamiento de 20 km de amunas</i>	84
Tabla 23	<i>Indicadores de Rentabilidad del Proyecto de Rehabilitación de 20 km de Amunas</i>	85
Tabla 24	<i>Beneficio Social por Reducción Emisiones de CO₂ 2026-2047</i>	88
Tabla 25	<i>Beneficio Social por Acceso al Agua Potable 2026-2047</i>	88
Tabla 26	<i>Beneficio Social por Creación de Empleo 2026-2047</i>	88
Tabla 27	<i>Beneficio Social por el Sector Agricultura 2026-2047</i>	88
Tabla 28	<i>Flujo Económico de los Beneficios Sociales Totales 2026-2047</i>	89

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Caudal Natural del Río Mantaro</i>	21
Figura 2 <i>Caudal Natural del Río Rímac</i>	21
Figura 3 <i>Caudal Natural del Río Santa</i>	21
Figura 4 <i>Caudal Natural del Río San Gaban</i>	22
Figura 5 <i>Producción Hidroeléctrica del SEIN</i>	22
Figura 6 <i>Producción Hidroeléctrica de Orygen Perú</i>	23
Figura 7 <i>Ubicación de las Centrales Hidroeléctricas de Orygen Perú</i>	26
Figura 8 <i>Mapa Procesos y Gerencias Orygen Perú</i>	27
Figura 9 <i>Conflictos Socioambientales Vinculados a Recursos Hídricos Por Actividades, 2011-2024</i>	30
Figura 10 <i>Diagrama Topológico de la Cuenca del Río Rímac</i>	33
Figura 11 <i>Caudal Natural Promedio Sheque (2001 - 2023)</i>	34
Figura 12 <i>Caudal Natural Promedio Tamboraque (2001 - 2023)</i>	35
Figura 13 <i>Producción Promedio (2019 - 2023)</i>	35
Figura 14 <i>Caso Central Hidroeléctrica Huinco</i>	36
Figura 15 <i>Caso Central Hidroeléctrica Matucana</i>	36
Figura 16 <i>Caso Central Hidroeléctrica Callahuanca</i>	37
Figura 17 <i>Caso Central Hidroeléctrica Moyopampa</i>	37
Figura 18 <i>Diagrama Ishikawa - Escasez Recurso Hídrico para Generación de Energía en Orygen</i>	44
Figura 19 <i>Caudal Promedio Semanal del Río Rímac del 2014 al 2024</i>	62
Figura 20 <i>Caudal Promedio Semanal del Río Santa Eulalia (2014 - 2024)</i>	62
Figura 21 <i>Mapa de Posibilidades de Proyectos de Infraestructura Verde las Cuencas Chillón, Rimac y Lurín (CHIRILU)</i>	64
Figura 22 <i>Quebradas Próximas a Toma de Agua Tamboraque</i>	65
Figura 23 <i>Infiltración de Agua Mediante Amuna y Posterior Afloramiento en Manantiales</i> .	66
Figura 24 <i>Enfoque de la Topología Hídrica de la CH Matucana y la CH Callahuanca</i>	67
Figura 25 <i>Ruta Crítica del Cronograma para la Implementación de 20 km de Amunas</i>	73
Figura 26 <i>Participación de Comuneros en Reforzamiento de Amunas</i>	79
Figura 27 <i>Curva del Caudal Recuperado Posterior a la Infiltración en las Amunas</i>	82

Capítulo I: Situación General de la Organización

En el Capítulo I, se desarrollará una visión integral de la situación general de la empresa Orygen Perú S.A.A (antes Enel Generación Perú S.A.A), el análisis de las cinco fuerzas de Porter, análisis FODA, análisis PESTEL y el modelo AMOFHIT.

1.1. Presentación de la Organización

Orygen Perú S.A.A es una empresa de generación de energía en el Perú que anteriormente pertenecía al conglomerado de empresas de energía del grupo italiano Enel bajo el nombre de Enel Generación Perú S.A.A. En mayo del 2024, el grupo Enel informó que la empresa Niagara Energy, perteneciente al fondo británico Actis, adquirió el 92.35% de las acciones con derecho a voto de Enel Generación Perú S.A.A. por un total de 1,357 millones de dólares, lo que convierte a Actis en el accionista mayoritario de la compañía. En el mes de junio, Actis realizó el cambio de denominación social de Enel Generación Perú S.A.A por Orygen Perú S.A.A.².

Orygen Perú S.A.A, en adelante Orygen Perú, cuenta con una potencia efectiva de 1,960.7 MW, de las cuales el 40.57% de su producción de energía proviene de centrales hidroeléctricas (incluyendo las centrales de Chinango), el 14.12% de fuentes renovables no convencionales, como solares y eólicas, y 45.32% de centrales termoeléctricas (Enel Generación Perú, 2023).

En la Tabla 1, se presentan los tipos de centrales por ubicación, potencia en MW y participación de la empresa Orygen Perú.

² Nota prensa: <https://www.peru-retail.com/enel-generacion-peru-se-transforma-en-orygen-e-invertira-us1-000-millones-en-cinco-anos/>

Tabla 1*Centrales por Tipo y Ubicación*

Central	Ubicación	Potencia Efectiva MW	Participación %
Ventanilla	Callao	476.1	24.28
Central Térmica Santa Rosa 1	Lima	221.2	11.28
Central Térmica Santa Rosa 2	Lima	191.2	9.75
Total Centrales Térmicas		888.5	45.32
Huinco	Lima	277.9	14.17
Matucana	Lima	138	6.99
Callahuanca	Lima	84.4	4.30
Moyopampa	Lima	69.1	3.52
Huampaní	Lima	30.9	1.58
Her I (Hydro Energy Recovery)	Lima	0.7	0.04
Total Centrales Hidroeléctricas		600	30.60
Rubí*		144.5	7.37
Wayra*		132.3	6.75
Total Centrales Energía Renovable no Convencional		276.8	14.12
Total Orygen Perú		1765.3	90.03
Chimay	Junín	152.3	7.77
Yanango	Junín	43.1	2.20
Total Chinango		195.4	9.97
Total		1960.7	100.00

(*) Estas centrales para el 2022 pertenecían a Enel Green Power Perú S.A., se incluyen para efectos comparativos.

Nota. Adaptado de Enel Generación Perú (2023)

Como parte de la propuesta de valor de Orygen Perú es contar con una cadena de suministro que maximice la eficiencia y eficacia en la producción de energía, garantizando el suministro de energía a sus clientes. En línea con ello, en los últimos diez años, Orygen Perú ha invertido S/ 2,512,000.00 en ejecución de proyectos de nuevas centrales renovables y mantenimientos en las centrales actuales con el objetivo de seguir optimizando los procesos de generación de energía, garantizando la continuidad del servicio (Enel Generación Perú, 2023).

En la Tabla 2, se detallan las cifras de la gestión del negocio de Orygen Perú según los datos recopilados de la Memoria de Enel Generación Perú 2023.

Tabla 2

Principales Indicadores de Orygen Perú

Principales Indicadores	Potencia Efectiva
Energía Vendida	8 860 GWh
Potencia Efectiva	1 647 MW
Potencia Efectiva de Fuente Hidráulica	795.4 MW
Ingresos Totales	S/ 2 383 MM
EBITDA	S/ 1 024 MM
Utilidad Neta	S/ 715 MM

Nota. Adaptado de Enel Generación Perú (2023)

1.2. Análisis de la Industria (las Cinco Fuerzas de Porter)

Para el análisis del entorno de la industria de generación eléctrica de Orygen Perú, se utilizará las cinco fuerzas de Michael Porter (Porter, 1979), permitiendo comprender la estructura de la industria y definir estrategias para enfrentar mejor la competencia.

1.2.1. Rivalidad Entre Competidores del Mercado

La rivalidad entre competidores del mercado energético es alta debido a que empresas como Engie (19.6%) y Kallpa Generación (18.1%) presentan una mayor participación en el mercado que Orygen Perú (17.4%), lo que evidencia un panorama competitivo (ver Tabla 3).

Debido a la ampliación de la capacidad de energía en Orygen Perú, la potencia efectiva de las centrales eólicas y solares, así como las centrales de reserva fría de generación, fue de 13,106.49 MW, incrementando en un 1.4% respecto al año anterior. Considerando la totalidad mencionada, Orygen Perú, junto a su subsidiaria Chinango, tuvieron una participación de 1,960.7 MW (representando un 15.0%), considerando además la integración de las centrales renovables de Enel Green Power Perú que se fusionó con Orygen antes Enel Generación Perú en agosto de 2023. Asimismo, en febrero del 2024 se

inició la puesta en operación comercial de la central solar Cledesí de 114.93 MW así como la de la central eólica Wayra Extensión (Enel Generación Perú, 2023) buscando reducir la dependencia de los combustibles fósiles y mejorar su competitividad en el mercado.

Tabla 3

Principales Competidores del Sector Generación

Grupo	Potencia Efectiva (MW)	Participación (%)
Otros	3,127.10	23.9
Engie	2,571.20	19.6
Kallpa	2,366.90	18.1
Enel	2,286.80	17.4
Electroperú	915.70	7.0
Samay	723.40	5.5
Unacem	543.30	4.1
Fénix	572.00	4.4
Total	13,106.40	100.0

Nota. Adaptado de Enel Generación Perú (2023)

1.2.2. Amenazas de Nuevos Competidores

La amenaza de nuevos competidores de centrales hidroeléctricas es baja debido a que, por la naturaleza del sector, se presenta barrera de entrada como alto grado de inversión, periodos de desarrollo de estudios de factibilidad, así como de implementación largos hasta su puesta en producción, así como los permisos y requisitos administrativos como el derecho de agua, otorgamiento de concesión y aprobación regulación de protección ambiental para las actividades eléctrica (Molinelli, 2018).

1.2.3. Amenazas de Productos Sustitutos

La generación de energía proveniente de centrales hidroeléctricas en Perú enfrenta una baja amenaza de productos sustitutos. Esto se debe a que la producción de energía proveniente de centrales térmicas implica un mayor costo de producción. En referencia a las energías renovables no convencionales, como la energía eólica y solar, estas representan alternativas de rápida implementación y de bajo costo de producción, sin embargo, se

proyecta que estas fuentes no reemplazarán a las centrales hidroeléctricas existentes, aunque sí reemplazarían parcialmente a las centrales térmicas.

1.2.4. Poder de Negociación de los Clientes

Orygen Perú tienen principalmente tres tipos de clientes (OSINERGMIN, 2024)³, usuarios libres, usuarios regulados y grandes usuarios. En la Tabla 4 se presenta la distribución de clientes de Orygen Perú basado en los consumos de potencia de energía suministrada en KW por tipo de contratación según los datos expuestos en el COES⁴.

Tabla 4

Distribución Clientes Orygen Perú Según Potencia Suministrada y Tipo Contratación en Marzo 2024 (en KW)

Tipo Cliente	TIPO CONTRATACIÓN	
	Bilateral (Kw)	Licitación (Kw)
Libre	593.786	-
Regulado	95.632	713.934
Gran Usuario	-	-
Total	689.417	713.934

Nota. Datos tomados del informe de “Liquidaciones del Mercado Mayorista Electricidad COES 2024. (<https://www.coes.org.pe/>). Información del dominio público.

Para los clientes de tipo usuarios libres y gran usuario, el poder de negociación es medio debido a que, a partir del 2022, ya no existe una sobre oferta en la generación de energía, este efecto disminuyó el portafolio de empresas generadoras para proporcionar este servicio (Macro Consult, 2024). Sin embargo, para los usuarios regulados, el poder de negociación es alto debido a que el modo de contratación se realiza por subastas públicas siendo los clientes los que parametrizan los criterios de evaluación técnica y tarifaria.

³ Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería

⁴COES: Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional

1.2.5. Poder de Negociación de los Proveedores

Para Orygen Perú, se puede diferenciar dos grupos de proveedores críticos por la naturaleza de la compañía.

- **Proveedores de Insumos/Materia Prima para las Centrales.** Para las centrales térmicas de Orygen Perú, el poder negociación es alto debido a que existe una única concesión para brindar este servicio (Pluspetrol, productor de gas; TGP, transportador de gas del Perú y Cálida, distribuidor de gas). En el caso de las centrales hidroeléctricas, el insumo es el agua el cual es regulado por Autoridad Nacional del Agua (ANA)⁵ y Autoridad Local Agua (ALA); por ende, el poder de negociación de estos entes reguladores es alto respecto a Orygen Perú debido a que son los organismos autorizados en regular el suministro hídrico, mientras que el poder de negociación de Orygen Perú respecto a las entidades regulatorias es bajo por ser las únicas entidades que podrían otorgar permisos regulatorios.
- **Proveedores de Soporte y Mantenimiento de las Centrales:** las tecnológicas que forman parte del portafolio de infraestructura de las centrales son altamente especializadas, por ende, el poder de negociación de Orygen Perú con los proveedores que brindan servicios y mantenimiento a estas plataformas es bajo debido al grado de especialización y baja disponibilidad del servicio en el mercado.
- **Proveedores Servicios Generales⁶:** deben estar calificados dentro del marco de contratación de Orygen Perú considerando criterios técnicos y tarifarios. En consecuencia, el poder de negociación de estos proveedores sería bajo, ya que, de no estar certificado, se optaría por otro proveedor.

⁵ ANA: La Autoridad Nacional del Agua (ANA) es el ente rector y máxima autoridad técnico-normativa del Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos en Perú.

⁶ Servicios Generales: En el ámbito corporativo, se conocen como servicios generales a todos aquellos trabajos que forman parte del mantenimiento de una empresa

1.3. Análisis del Contexto de la Empresa (Oportunidades y Amenazas)

A continuación, se detallarán las oportunidades y amenazas de Orygen Perú frente a la relación con su entorno externo del mercado.

1.3.1. Oportunidades

- Se identifica como oportunidades para Orygen Perú, los incentivos gubernamentales y privados para la preservación del agua, la cual generaría grandes incentivos en línea con la hoja de ruta del portafolio de inversión en proyectos sostenibles y de naturaleza renovables de la compañía (Orygen, 2024). Un tipo de incentivo de esta naturaleza es la unidad ejecutora del Fondo Sierra Azul, el cual es un organismo adscrito al Ministerio de Agricultura que tiene como principal función incrementar la seguridad hídrica a través de proyectos de factibilidad y con soporte financiero para actividades complementarias para la siembra y cosecha del agua, la cual beneficiaría financieramente en los proyectos de mejora de captación de recurso hídrico en las centrales hidroeléctricas de Orygen Perú. Adicionalmente, Aquafondo⁷ también brinda recursos y lineamientos que permiten la conservación, protección y restauración de las cuencas de los ríos Chillón, Lima y Lurín, fomentando también el desarrollo de proyectos e iniciativas que contribuyan a una adecuada gestión de los recursos hídricos, este escenario es una gran oportunidad para proyectos de desarrollo de las centrales de Orygen ubicadas en la cuenta del río Chillón.
- Asimismo, otra oportunidad para Orygen Perú son los incentivos para la inversión de proyectos de infraestructura según la Ley N°29230, donde a través de esta ley podrá ejecutar proyectos de infraestructura pública, obteniendo a su favor crédito fiscal que pueden usar para pagar su impuesto a la renta, es decir Orygen Perú podrá aprovechar el crédito fiscal de sus proyectos de inversión de infraestructura de las centrales

⁷ Aquafondo: Fondo de Agua para Lima y Callao.

hidroeléctricas para reducir su pago del impuesto a la renta, permitiendo una gestión fiscal más eficiente.

- El incremento de la conciencia ambiental en los últimos años en la política y regulación peruana es también una gran oportunidad para Orygen Perú debido a que su visión como compañía está orientada en la implementación de nuevas centrales renovables (Orygen, 2024). Prueba de ello, se refleja en la Política Nacional del Ambiente al 2030, la cual indica que dentro de unos de sus principales objetivos: *“Lograr que el 64% de la energía en la red eléctrica nacional provenga de fuentes renovables”* (Ministerio del Ambiente, 2023), donde Orygen Perú como empresa generadora de energía contará con el respaldo de un marco regulatorio ambiental delimitado para el desarrollo de su portafolio de centrales de energía procedente de fuentes renovables. Esta visión de Orygen Perú de incrementar la generación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables también está relacionada con la Política Nacional: Estrategia Nacional ante el Cambio Climático al 2050, la cual señala dentro los principales lineamientos para reducir el riesgo climático en los sujetos vulnerables lo siguiente: *“Fortalecer acciones para optimizar el uso del recurso del agua en cuencas hidrográficas vulnerables al cambio climático”* (MINAM, 2024).

1.3.2. Amenazas

- Se identifica como amenazas la dependencia de la producción con la disponibilidad de lluvias. El comportamiento de las lluvias sigue un comportamiento cíclico dividido principalmente en dos períodos: avenida y estiaje. El período de avenida, caracterizado por mayores lluvias, se extiende de diciembre a mayo. El período de estiaje, marcado por la escasez de lluvias, abarca de junio a noviembre. Este periodo

impacta directamente en la producción de energía de Orygen, reduciendo en 16%⁸ la producción de energía proveniente de las centrales hidroeléctricas.

- Otra de las amenazas para Orygen Perú es el cambio climático. De acuerdo con el Banco Mundial (2023), las fuentes de agua de nuestro país están siendo gravemente afectadas debido a los efectos del cambio climático, lo que incrementa la vulnerabilidad de las cuencas hidrográficas y la competencia por este recurso. Además, el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) advierte que la variabilidad climática y el cambio en los patrones de precipitación afectan directamente las respuestas hidrológicas en cuencas claves como las del río Rímac y Santa Eulalia, donde se ubican las centrales hidroeléctricas de Matucana y Callahuanca. (SENAMHI, 2024). En este contexto, el deshielo acelerado de los glaciares, como el Pastoruri, y el incremento en la frecuencia de sequías son fenómenos que amenazan tanto las zonas costeras como las de la sierra del Perú. De acuerdo con CEPLAN (2023), se estima que para el año 2030, el 58% de la población peruana residirá en zonas con estrés hídrico, situación que obliga a empresas como Orygen Perú a implementar estrategias de adaptación más robustas. Por otro lado, la alteración climática extrema afectaría directamente la producción de energía de Orygen, por ejemplo, en un escenario de calor extremo, conllevaría a una mayor demanda de energía por necesidad de refrigeración del cliente final, los cuales demandaría para Orygen, redefinir los costos operativos de la sobreproducción no planificada.
- El nivel de prioridades para el uso y consumo de agua también es una amenaza para nuevos proyectos de centrales hidroeléctricas debido a que de acuerdo con la Ley N° 29338, “Ley de Recursos Hídricos” (Congreso de la República del Perú, 2009), las

⁸ Cálculo basado en los datos reportados por Orygen Perú al COES. Se detalla en el apéndice B.

prioridades para el uso del agua están establecidas de la siguiente manera: la prioridad N° 1 corresponde al uso primario, la prioridad N° 2 al uso poblacional, y la prioridad N° 3 al uso productivo. Por lo tanto, la producción de energía eléctrica está sujeta a los requerimientos de los usos que tienen mayor prioridad; por ello, la prioridad del uso y consumo del agua impacta a Orygen para la formulación de ampliaciones o nuevas centrales hidroeléctricas, ya que se encontraría en un escenario de competencia con otros sectores como agrícola, doméstico e industrial, haciendo más difícil obtener concesiones de uso de agua para la generación de energía.

- La degradación de la cuenca representa una amenaza para Orygen, puesto que según la información consignada en el “Diagnóstico Inicial para el Plan de Gestión de Recursos Hídricos” (Aquafondo, 2019) los ríos Rímac, Chillón y Lurín se encuentran contaminados; principalmente, afectados por descargas generadas por la minería, industria de manufactura, actividades agrícolas y desagües domésticos. Debido a este impacto negativo en el recurso hídrico SEDAPAL destina millones de soles en mecanismos que permitan purificar el agua para que pueda ser potable anualmente. De acuerdo con el reporte de “Indicadores de Alteración Hidrológica en la cuenca del Río Rímac” (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, 2014), con el transcurrir de los años las cuencas puedan degradarse a sus mínimos niveles, lo cual implica que la cantidad de agua que se tenga disponible pueda reducirse hasta en un 26%, impactando negativamente tanto a la necesidad de consumo como a las actividades económicas que dependen de ella.
- Respecto al incremento no planificado del uso de agua por parte de regantes, se considera también una amenaza para Orygen, puesto que de acuerdo con el informe publicado: “El Futuro del Riego en el Perú” (Banco Mundial, 2013), en los últimos 10 años el sector agrícola presentó un crecimiento de un 30%, esto como consecuencia de

la apertura del comercio exterior relacionada con los tratados y convenios suscritos con diversos países de Asia, Europa y Estados Unidos. El estudio del Banco Mundial también señala que si bien no se disponen de estadísticas permitan concluir el porcentaje y crecimiento de utilización del agua para el riego, es fundamental señalar que ha permitido expandir el crecimiento de la actividad agrícola generando fuentes de trabajo para la población local. Sin embargo, el Instituto de la Naturaleza, Tierra y Energía de la Pontificia Universidad Católica del Perú, indica en su artículo: “¿Cuáles son los mayores problemas ambientales que amenazan al Perú?” (INTE PUCP, 2023) que la falta de inversión en sistemas hídricos representa un grave problema a futuro, ya que en la actualidad menos del 20% del riego es tecnificado, y con ello la eficiencia en el uso del recurso hídrico es inferior al 40% (Agro Peru Informa, 2024). El informe del Banco Mundial también señala que si bien la media de disponibilidad hídrica en el Perú ($62\,667\text{ m}^3$ / persona/año) muestra un valor privilegiado, este no toma en cuenta que la demanda de agua en la vertiente del Pacífico es mayor, y que la actividad agrícola ha generado problemas de sobre explotación de los acuíferos en las cuencas de la costa sur. Este contexto sumado a la baja eficiencia del riego agrava la escasez del agua, y como consecuencia de ello la disminución en la cantidad de energía eléctrica que podría generarse a partir de ella.

1.4. Análisis del Contexto Interno de la Empresa (Fortalezas y Debilidades)

A continuación, se detallarán las fortalezas y debilidades de Orygen Perú frente a la relación con su entorno interno como compañía.

1.4.1. Fortalezas

- Se identifica como fortaleza la capacidad de generación hidroeléctrica constante, ya que, de acuerdo con la información de las fichas técnicas publicadas en la página web del COES a mayo de 2024, Orygen Perú presenta capacidad de generación

hidroeléctrica de 600 MW provenientes de las cuencas de los ríos Rímac y Santa Eulalia, compuestas por las siguientes centrales hidroeléctricas: Huinco (277.90 MW), Matucana (137.02 MW), Callahuanca (84.38 MW), Moyopampa (69.15 MW), Huampaní (30.85 MW) y Her (0.68 MW). Esta capacidad está disponible durante todo el año, y representan una fortaleza , ya que de acuerdo con el estudio “Propuesta de un Marco Regulatorio que Incentive las Inversiones Eficientes en Generación Eléctrica en el Perú” (Butron Fernandez & Cerida Apolaya, 2020), en caso no se logre cubrir con planificación de los proyecto de generación de energía hasta el 2025, se estima que existirá un déficit de generación eficiente en el sistema, es en este contexto entonces en donde tener la posibilidad de poder operar al 100%, inclusive con el factor de la variación en los recursos hídricos, se convierte en una fortaleza más para Orygen.

- La experiencia y conocimiento en la operación de centrales hidroeléctricas representa una fortaleza para Orygen Perú, ya que cuenta con un equipo de profesionales altamente capacitados con un amplio conocimiento en la operación de sus centrales hidroeléctricas y en la gestión del recurso hídrico necesario para su funcionamiento eficiente. Este conocimiento se basa en las décadas de operación, desde 1922, cuando Empresas Eléctricas asociadas, anterior propietario de los activos, inició el proyecto para aprovechar el recurso hídrico de las cuencas del río Rímac y Santa Eulalia de manera escalonada, en la cual, a través de las áreas operativas y de gestión de los recursos hídricos han venido operando las centrales de manera eficiente. Esto permite asegurar la custodia y adecuada transferencia del activo intelectual vinculado con la correcta operación y mantenimiento de las centrales hidroeléctricas.
- Adicionalmente, la capacidad para gestionar nuevos proyectos es otra de las fortalezas de Orygen Perú, puesto que es una empresa de generación de energía eléctrica

financieramente sólida, que invierte en proyectos de generación renovable y sostenible, asegurando así un crecimiento constante y una contribución positiva al medio ambiente. Un ejemplo de ello es la puesta en operación comercial de la central solar Rubí de 144.48 MW y la central eólica Wayra I de 132.30 MW en el año 2018 (COES, 2024). Además, en febrero de 2024, completaron la construcción y comenzaron a operar comercialmente la central solar Clemesí, con una capacidad de 114.93 MW. Finalmente, en julio 2024, se inició la operación comercial de la central eólica Wayra Extensión con una capacidad instalada de 177 MW. En los últimos 5 años, la cantidad de energía contratada por Grandes Usuarios se incrementó en cerca del 56% (Apoyo y Asociados, 2023).

- La búsqueda continua de innovación es parte de la estrategia de Orygen Perú, ya que está comprometida al desarrollo de sus procesos de una manera eficiente, priorizando el uso de la tecnología para la automatización, mejorando continuamente sus actividades operativas y de manejo de centrales de generación de energía hidráulica para mantener su liderazgo en el sector. Una evidencia de esto son los reconocimientos obtenidos en la última edición de los Premios Desarrollo Sostenible 2024, esta premiación es organizada de manera anual por la Sociedad Peruana de Minería, Energía y Petróleo, Orygen obtuvo un reconocimiento especial en la categoría de Gestión Ambiental, en lo que respecta al manejo de los recursos hídricos para la generación de energía gracias a su propuesta “Smart Chemical Control” (Energiminas, 2024).

1.4.2. Debilidades

- Representa una debilidad para Orygen Perú la obsolescencia de sus equipos, en lo que respecta a aquellas centrales hidroeléctricas que entraron en operación en diferentes años desde 1922, por lo cual la tecnología para su adecuación y actualización

requieren ejecutar proyectos y adaptaciones de infraestructura, que en muchos casos conlleva una alta inversión, y de la mano con ello un alto impacto al ecosistema en el que se desarrolla una central hidroeléctrica.

- Vinculado con la falta de uniformidad e integración en los sistemas informáticos de la compañía, se produjo luego de finalizada la venta de la compañía Enel Generación al fondo de inversiones Actis (Alcalá, 2024), puesto que se inició un proceso de transición en el que la empresa no cuenta con una estandarización de los sistemas informáticos necesarios para operar las centrales hidroeléctricas. Esto último representa una debilidad toda vez que el manejo de la operación remota y telecontrolada es crucial para garantizar la eficiencia en el uso del recurso hídrico (María José Quintero Santos, 2018), puesto que la toma de decisiones requiere de información precisa en el momento exacto de la operación, el no contar con esta genera demoras en el proceso de toma de decisiones.

1.4.3. Análisis PESTEL

Para elaborar el análisis de PESTEL, se tomó en cuenta el contexto actual descrito en el análisis FODA, y el juicio de experto de la hidróloga de Orygen, Liliana Villaorduña realizada a través de una entrevista presencial (Apéndice A). Adicionalmente, se presenta como una media probabilidad la ocurrencia de algún conflicto con la comunidad, toda vez que las acciones vinculadas al presente trabajo priorizan la integración y capacitación de la comunidad.

De la misma forma, la degradación de la cuenca tiene una probabilidad baja debido a que las acciones que se llevan a cabo para generar energía en una central hidroeléctrica no generan ningún tipo de impacto o afectación al agua, toda vez que esta solamente es utilizada para accionar el mecanismo de funcionamiento en una central hidroeléctrica. A continuación, en la Tabla 5, se presenta el análisis de PESTEL:

Tabla 5*Análisis PESTEL de Orygen Perú*

PESTEL	Impacto	Probabilidad	Referencia
Factores Políticos			
Incentivos gubernamentales para la preservación del agua.	Positivo	Alta	Oportunidad
Crecimiento sin límites y sin planificación de las ciudades.	Negativo	Alta	Amenaza
Factores Económicos			
Incremento no planificado del uso de agua por parte de las juntas de regantes.	Negativo	Media	Amenaza
Incentivos gubernamentales para la preservación del agua.	Positivo	Alta	Oportunidad
Factores Sociales			
Fuentes de empleo y capacitación para las comunidades.	Positivo	Alta	Oportunidad
Conflictos con otros usuarios de agua (SEDAPAL, comunidades, etc.)	Negativo	Media	Amenaza
Factores Tecnológicos			
Experiencia y conocimiento en la operación de las centrales, y el recurso hídrico necesario para la operación.	Positivo	Alta	Oportunidad
Capacidad para la asignación de recursos destinado a la ejecución de nuevos proyectos.	Positivo	Alta	Oportunidad
Factores Ecológicos			
Cambio climático	Negativo	Alta	Amenaza
Degradación de la cuenca	Negativo	Baja	Amenaza
Factores legales			
Incentivos gubernamentales para la preservación del agua.	Positivo	Alta	Oportunidad
Incrementar la conciencia ambiental.	Positivo	Alta	Oportunidad

Nota. Análisis PESTEL de Orygen Perú basada en la Memoria Anual Integral de Enel

Generación Perú (Enel Generación Perú, 2023) y juicio experto Orygen.

1.4.4. Análisis AMOFHIT

Se ha realizado el análisis AMOFHIT de Orygen Perú con el objetivo de realizar la evaluación interna de las áreas funcionales principales relacionadas con la producción de energía hidroeléctrica. La evaluación se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6

Análisis AMOFHIT de Orygen Perú

Administración y Gerencia (A)	<p>Fortaleza: La estructura de gobierno de la empresa refleja prácticas de buen gobierno corporativa. Esta práctica asegura transparencia, responsabilidad y una toma de decisiones eficiente dentro de la organización.</p> <p>Debilidad: La venta de los activos Enel Group a Actis, genera de forma transitoria la existencia de gerencias interinas, las cuales pueden generar inestabilidad y falta de continuidad en la dirección estratégica de la empresa.</p>
Marketing (M)	<p>Fortaleza: Desarrollo de estrategias de marketing a la vanguardia del sector energético con lineamientos claros de ser una compañía Cero emisiones en el 2030.</p> <p>Debilidad: Con el cambio de socio mayoritario de la compañía, generaría inestabilidad en las directrices y lineamientos de mantener siendo una empresa sostenible y en busca de la reducción de emisiones de carbono afectando la imagen corporativa.</p>
Operaciones (O)	<p>Fortaleza: Amplia experiencia en la gestión y optimización de operaciones de generación de energía hidroeléctrica, la cual se refleja en las décadas de operación de todas las centrales hidroeléctricas de la compañía. Asimismo, sólido conocimiento en gestión financiera y evaluación económica de las operaciones, lo que garantiza la sostenibilidad y rentabilidad de la empresa.</p> <p>Debilidad: Dependencia de la disponibilidad hídrica. Esta característica es propia de la tecnología hidroeléctrica, que depende de los recursos hídricos que a su vez depende de las lluvias estacionales.</p>

(Continúa)

Tabla 6 (Continuación)*Análisis AMOFHIT de Orygen Perú*

Finanzas (F)	<p>Fortaleza: Alta capacidad de inversión, lo que permite la expansión y actualización de infraestructuras, mejorando la capacidad de generación y eficiencia.</p> <p>Debilidad: Inestabilidad por cambio organizacional y estrategias financieras producto de la venta de Enel Generación Perú a Actis.</p>
Recursos Humanos (H)	<p>Fortaleza: Cultura organizacional fuerte con valores compartidos sólidos, motivación y compromiso de los colaboradores alineados al objetivo de la compañía.</p> <p>Debilidad: Dificultad para atraer y retener talento en ubicaciones remotas, lo que puede afectar la operación.</p>
Sistemas de información (IT)	<p>Fortaleza: Uso de tecnología de información de vanguardia para asegurar la conectividad de las señales de operación, lo cual es crucial para el monitoreo y control de las operaciones en tiempo real.</p> <p>Debilidad: Necesidad de modificar los sistemas informáticos debido a la venta de activos de Enel Group a Actis.</p>

Nota. Análisis AMOFHIT de Orygen Perú basada en (Enel Generación Perú, 2023)

Respecto de la evaluación AMOFHIT, se puede concluir lo siguiente:

En términos de Administración y Gerencia, se destaca una sólida estructura de gobierno corporativo, aunque la transición a nuevas gerencias interinas representa un desafío que podría afectar la estabilidad.

En el área de Marketing, presenta una fuerte fortaleza debido a sus estrategias de difusión de proyectos renovables y sostenibles, promoviendo un mensaje claro sobre los beneficios a la sociedad que estos brindan.

En cuanto a Operaciones, Orygen Perú posee alta experiencia en la gestión de operación de centrales hidroeléctricas, siendo una compañía pionera en la gestión de energías basadas en fuentes hídricas. Sin embargo, presenta una alta dependencia de recursos hídricos la cual podría generar pérdidas en la generación de energía.

Las Finanzas de Orygen Perú muestran una gestión financiera sólida y una capacidad de inversión robusta; sin embargo, el cambio organizacional, así como nuevas estrategias de inversión podría generar inestabilidad con los stakeholders.

El análisis de Recursos Humanos en Orygen presenta una fuerte cultura organizacional donde la motivación y compromiso de los colaboradores está alineada a los objetivos de la empresa; sin embargo, la preferencia del personal por trabajar en entornos urbanos plantea retos de retención en ubicaciones remotas por la ubicación de las centrales.

Finalmente, en Sistemas de Información, el uso de tecnologías a la vanguardia adecuadas para asegurar la conectividad y eficiencia operativa, pero la necesidad de actualizar los sistemas tras la venta de activos presenta un reto logístico y financiero.

1.5. Resumen del Capítulo

En el presente capítulo, se presentó la organización Orygen Perú, considerando los principales datos de operación vinculados con el negocio de la generación de energía eléctrica. También se desarrolló el análisis de la industria a través del enfoque de la herramienta de Las cinco fuerzas de Porter, en este punto se realizó el análisis respecto del posicionamiento de la organización en el mercado, sus competidores y el vínculo con sus clientes.

Se presentó también el análisis de contexto de la empresa (oportunidades y amenazas), incluyendo también el contexto interno (fortalezas y debilidades); con esta información se elaboró el análisis de PESTEL para Orygen Perú, el mismo que permitió vincular el impacto y probabilidad a los diversos factores que influyen en la operación de la organización.

También se presentó en este capítulo el análisis AMOFHIT, a través del cual se evaluó de manera funcional a cada área vinculada con la producción de energía,

encontrándose por ejemplo que la gestión financiera destaca por presentar robustez y buen desempeño.



Capítulo II: Problema Relevante

En el Capítulo II, se analizará el problema identificado como materia de estudio, así como su sustancia del problema, su ubicación, su propiedad, magnitud y su perspectiva temporal. Además, se evaluarán las implicancias sociales asociadas a la escasez del agua y así como las conclusiones derivadas de este capítulo.

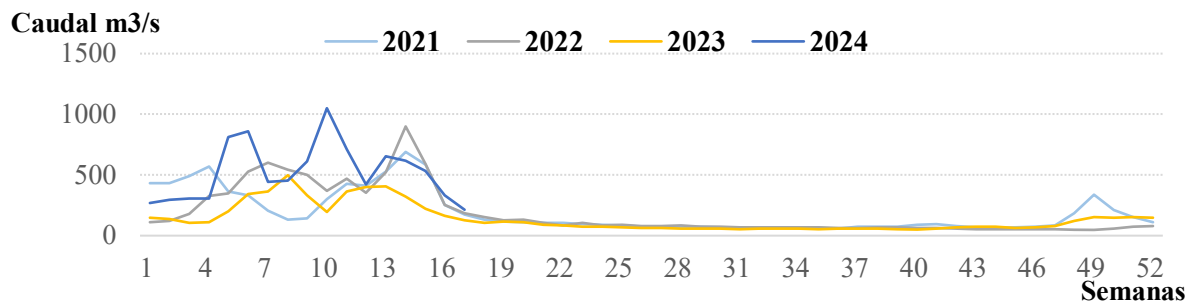
2.1. Problema Identificado

La producción de energía hidroeléctrica en Orygen Perú enfrenta un desafío significativo debido a la dependencia de la disponibilidad de recursos hídricos, los cuales presentan variaciones anuales y estacionales que impactan de manera relevante la producción. Según Wagner (2011), estas variaciones pueden afectar la estabilidad y eficiencia de las centrales hidráulicas.

En el Perú, el año hidrológico en la zona de la sierra, se divide en dos periodos: avenida, de diciembre a mayo, caracterizado por mayores lluvias; y estiaje, de junio a noviembre, con menores lluvias (COES-SINAC, 2023). Este patrón se refleja en el comportamiento del caudal de cuencas de diferentes cuencas del Perú, para ello en la Figura 1, Figura 2, Figura 3 y Figura 4, se muestra el comportamiento de algunas cuencas representativas del norte, centro y sur del país. Para combatir esta variabilidad estacional del caudal se utilizan enormes reservorios de agua los cuales almacenan el recurso durante en el periodo de avenida para su uso estratégico durante el periodo de estiaje, lo cual ayuda a estabilizar la disponibilidad hídrica (Borowski, 2022).

Figura 1

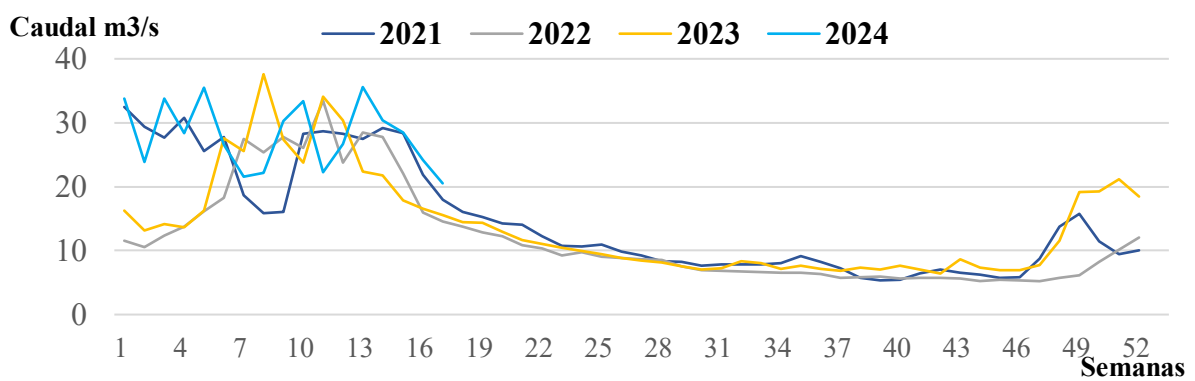
Caudal Natural del Río Mantaro



Nota: Adaptado de COES SINAC (2024).

Figura 2

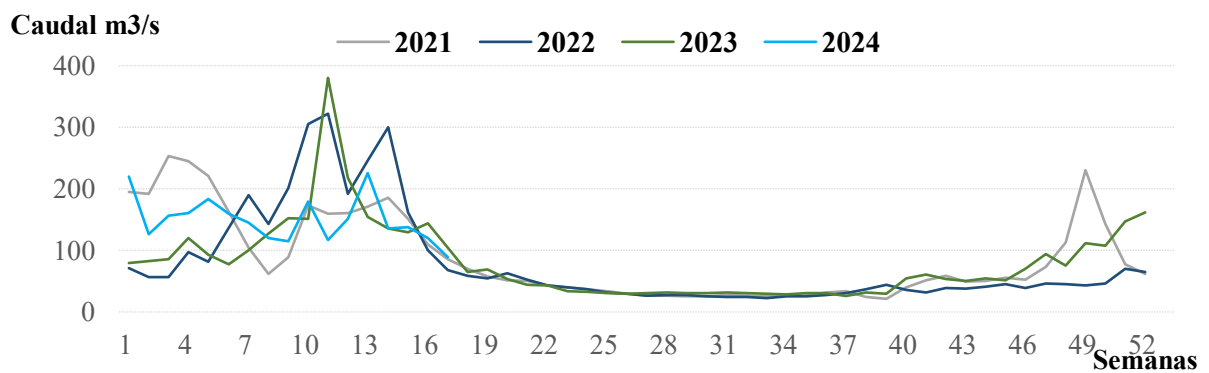
Caudal Natural del Río Rímac



Nota. Adaptado de COES SINAC (2024)

Figura 3

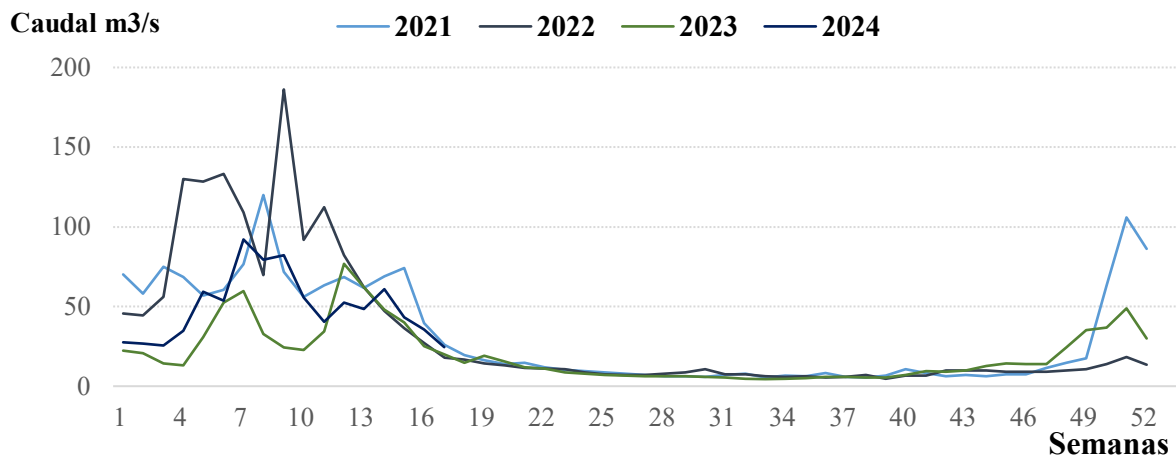
Caudal Natural del Río Santa



Nota. Adaptado de COES SINAC (2024)

Figura 4

Caudal Natural del Río San Gaban

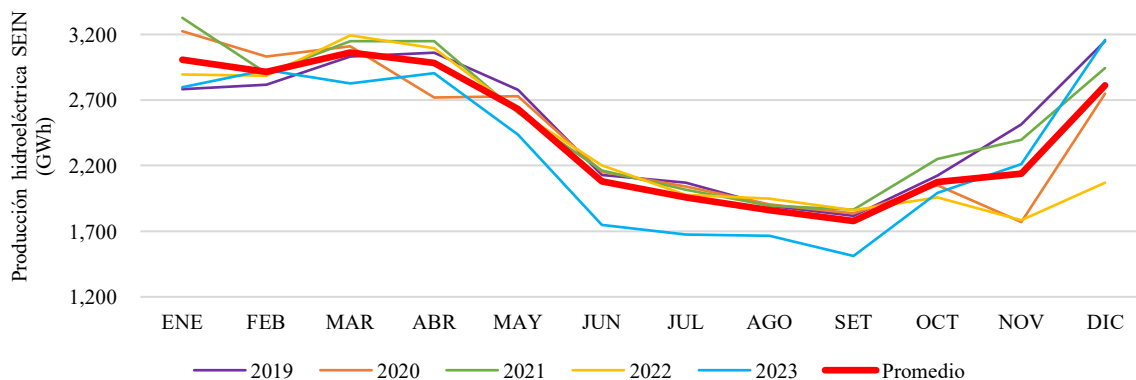


Nota. Adaptado de COES SINAC (2024)

A pesar del uso de los grandes reservorios estacionales, la producción hidroeléctrica en el Perú disminuye considerablemente durante los periodos de estiaje respecto de los periodos de avenida. Como podemos observar en la Figura 5, presentan una reducción promedio de 32%, de acuerdo con la información histórica de los últimos 5 años.

Figura 5

Producción Hidroeléctrica del SEIN

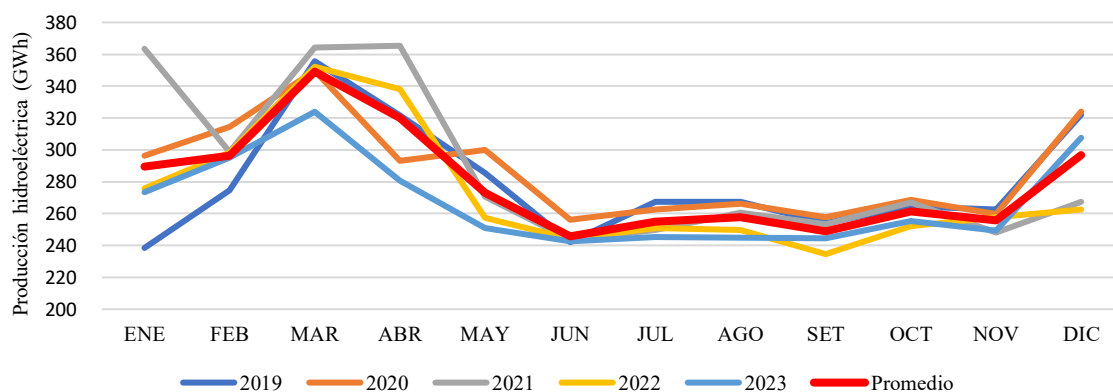


Nota. Adaptado de COES SINAC (2024)

En lo que respecta a las centrales hidroeléctricas de Orygen Perú, el caso es muy similar a lo que sucede con otras centrales hidroeléctricas del país, a pesar del uso de grandes reservorios estacionales la producción de energía en el periodo de estiaje es inferior a la del periodo de avenida. Como se puede observar en la Figura 6, se presenta una reducción promedio de 16%, de acuerdo con la información histórica de los últimos 5 años. Este es un desafío que Orygen Perú debe gestionar adecuadamente para el éxito de sus operaciones.

Figura 6

Producción Hidroeléctrica de Orygen Perú



Nota. Adaptado de COES SINAC (2024)

2.2. Sustancia del Problema

La escasez de recursos hídricos en las centrales hidroeléctricas de Orygen Perú representa un desafío crítico para la sostenibilidad y eficiencia de la generación de energía. Según Enel Generación Perú (2023), aproximadamente el 40 % de la generación de energía de la empresa proviene de plantas hidroeléctricas ubicadas en regiones donde la disponibilidad de agua ha disminuido en un 16% en los últimos 5 años, según COES SINAC (2024).

Esta reducción en la disponibilidad de agua se atribuye a la variabilidad climática, el cambio en los patrones de precipitaciones y la competencia por el uso del recurso hídrico con sectores como la agricultura y el consumo humano. La regulación de estos recursos está

amparada bajo la Ley de Recursos Hídricos (Ley N° 29338), promulgada en 2009 (Congreso de la República del Perú, 2009), y su Reglamento aprobado mediante el Decreto Supremo N° 001-2010-AG. Esta ley establece que el uso del agua con fines energéticos es secundario, priorizándose el uso para consumo humano y agrícola, tal como lo regula la Autoridad Nacional del Agua (ANA), encargada de otorgar los permisos y concesiones hídricas.

El Decreto Supremo N° 007-2015-MINAGRI, que aprueba el Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos, refuerza estos principios, estableciendo que, en situaciones de escasez, se debe garantizar el acceso prioritario al agua para consumo humano y agrícola, antes de destinar el recurso a actividades productivas como la generación de energía. Este contexto ha reducido el caudal disponible para las plantas hidroeléctricas, afectando directamente la producción de energía.

La problemática de la escasez de agua no solo tiene repercusiones económicas al incrementar los costos operativos para la producción de energía, sino que también conlleva impactos ambientales al aumentar las emisiones de gases de efecto invernadero resultantes de la operación de centrales térmicas. Adicionalmente, el International Energy Agency (IEA) ha reportado que la capacidad hidroeléctrica en América Latina podría disminuir en promedio un 8% hasta 2059 debido al cambio climático. Este descenso en la capacidad de generación hidroeléctrica podría traducirse en aumentos del costo de la electricidad para los consumidores finales, así como en una mayor inestabilidad en el suministro eléctrico (International Energy Agency, 2021).

La competencia por el uso del agua entre la producción de energía y la agricultura es un desafío crítico en Perú. De acuerdo con la Autoridad Nacional del Agua (ANA), el sector agrícola utiliza aproximadamente el 80% del agua dulce disponible en el país. La escasez de agua afecta directamente la producción agrícola, lo que puede derivar en menores rendimientos de cultivos y, por ende, en un menor abastecimiento de alimentos. Esto no solo

afecta la seguridad alimentaria, sino que también tiene implicaciones económicas, ya que la agricultura es una fuente de empleo y sustento de muchas comunidades rurales (Aquafondo, 2024).

El acceso al agua potable es otro aspecto crítico afectado por la escasez de recursos hídricos. En regiones donde las centrales hidroeléctricas se ven limitados por el abastecimiento de agua potable, se pueden generar conflictos entre estos dos diferentes usuarios del agua. Por ejemplo, la regulación de la cantidad de agua en los ríos Rímac y Santa Eulalia se realiza considerando la disponibilidad del recurso y las necesidades de los distintos usuarios en esta cuenca. Sedapal, como uno de los usuarios con mayor prioridad, capta el agua de estos ríos para potabilizarla y abastecer a la población. Aunque sus puntos de captación están ubicados aguas abajo de las centrales hidroeléctricas y no reducen directamente el caudal disponible para estas, los requerimientos de Sedapal sí influyen en la regulación del agua en la cuenca, generando un impacto en la disponibilidad del recurso para operación de las centrales hidroeléctricas. Cabe indicar que, de acuerdo con SEDAPAL (2022), Lima enfrenta desafíos significativos para garantizar un abastecimiento adecuado, especialmente durante los períodos de estiaje.

La priorización del uso del agua para el consumo humano y la agricultura sobre la generación de energía, como se establece en la Ley de Recursos Hídricos (Ley N° 29338), es un reto para Orygen Perú. Esta ley establece que el uso primario del agua es para consumo humano, seguido por el uso agrícola, y posteriormente para la producción de energía, lo que dificulta la disponibilidad de recurso hídrico para las centrales hidroeléctricas durante los períodos críticos. Aunque la ley no especifica porcentajes exactos para cada uso, su reglamento y las normativas relacionadas establecen que la ANA es la entidad competente de regular y administrar el uso del agua, emitiendo licencias y permisos correspondientes (Congreso de la República del Perú, 2009).

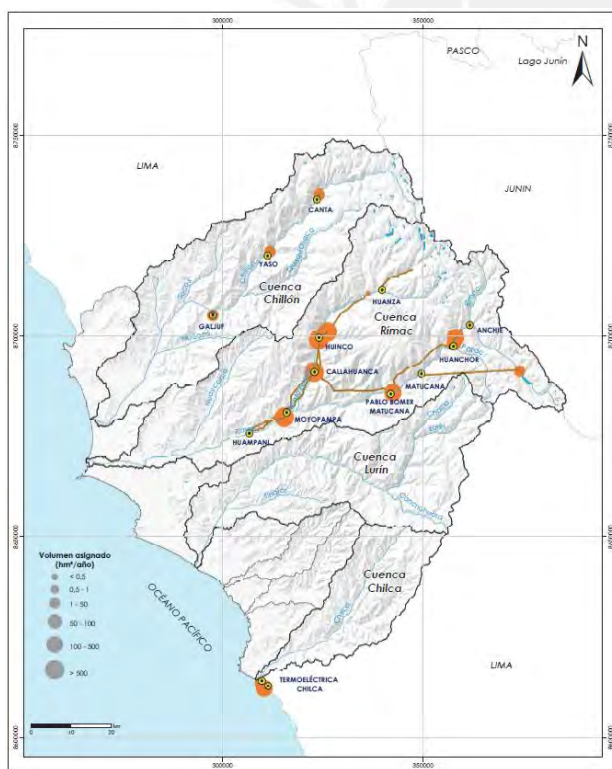
Ante esta situación, surge la urgencia de adoptar prácticas sostenibles y tecnológicas avanzadas que permitan enfrentar la variabilidad climática y garantizar la continuidad de la generación del suministro eléctrico.

2.3. Ubicación del Problema

El problema de escasez de agua descrito anteriormente se presenta en las centrales hidroeléctricas de Orygen Perú que incluyen Huinco, Matucana, Callahuanca, Moyopampa, Huampani y Her I, las cuales están ubicadas en las cuencas del Río Rímac, en las provincias de Huarochirí y Lima, dentro del departamento de Lima, como se aprecia en la Figura 7.

Figura 7

Ubicación de las Centrales Hidroeléctricas de Orygen Perú



Nota. Datos tomados de Autoridad Nacional del Agua (2019)

2.4. Propiedad del Problema

Conforme la descripción del problema señalado se entiende que la escasez del recurso hídrico para la producción de energía eléctrica durante las épocas de estiaje involucra a

diversos procesos y gerencias de Orygen Perú, a efectos de ello se presenta la Figura 8 en la que se muestran los principales procesos y gerencias de la compañía:

Figura 8

Mapa Procesos y Gerencias Orygen Perú



Nota. Adaptado de información interna de Orygen Perú, 2024.

Como lo muestra la Figura 8, el proceso de Real Time and Planification contiene a las unidades de Gestión de Hidrología y Planificación de la Producción, estos dos sectores son fundamentales para la planificación futura del recurso hídrico. También se señala el proceso de Desarrollo de Negocios el mismo que incluye a las jefaturas de Factibilidad y Desarrollo de Proyectos, ambos sectores son cruciales para determinar la viabilidad de la inversión requerida en la propuesta de solución del problema. Finalmente, la Figura 8 también presenta al sector de Sostenibilidad, el mismo que con las jefaturas de Gestión de las Comunidades y de Proyectos de Responsabilidad Social y Valor Compartido, deberán encargarse de realizar la adecuada evaluación respecto al involucramiento y participación de las comunidades de la zona influenciada para la gestión del agua. Los tres procesos mencionados estarán

involucrados en toda la evaluación de la propuesta de solución para garantizar la rentabilidad y un impacto social positivo de la inversión.

2.5. Magnitud del Problema

El problema que enfrenta Orygen Perú, al igual que todas las empresas que poseen centrales hidroeléctricas, es la disminución de la disponibilidad hídrica en el periodo de estiaje. Esta reducción impide que se aproveche plenamente la capacidad instalada de su infraestructura hidroeléctrica. Según una evaluación propia basada en los reportes de producción ejecutada y liquidación de la valorización de las transferencias de energía en el Mercado Mayorista de Electricidad publicados por el COES, si la disponibilidad hídrica para las centrales hidroeléctricas de Orygen Perú pudiera incrementarse durante el año logrando mantener la producción hidroeléctrica al menos en el 85% de la producción promedio el periodo de avenida, su producción anual se incrementaría en 285 GWh. Esto representaría un incremento aproximado de S/ 39,200,000.00 anuales en la valorización de la producción en el Mercado Mayorista de Electricidad, como se explica con mayor detalle en el numeral 3.1 Análisis cuantitativo.

2.6. Perspectiva Temporal del Problema

La escasez del recurso hídrico durante las épocas de estiaje ha existido desde siempre, considerando que es parte del ciclo natural del recurso hídrico en las cuencas de nuestro país, sin embargo, con las implicancias globales del cambio climático se reconoce la necesidad de identificar otras fuentes para suministrar energía, ya que los pronósticos indican que los escenarios climáticos serían más frecuentes, poniendo en peligro el suministro de agua para las centrales hidroeléctricas.

2.7. Implicancias Sociales del Problema

El Perú es un país con abundantes recursos naturales, no obstante, el manejo inapropiado de los recursos hídricos a manos de la industria, los efectos del cambio climático,

el crecimiento de la población y las ineficiencias en la agricultura han exacerbado la escasez de agua y dificultado los intentos para alcanzar el desarrollo sostenible (UNESCO, 2024).

Las implicancias sociales entre diferentes sectores por el uso del agua han generado tensiones en los últimos años. Esto se debe a que la distribución y necesidad del agua entre sectores no es la misma, y cualquier alteración en las necesidades de crecimiento de estos sectores puede impactar al otro; de acuerdo con (Castro Salvador, 2020), además de las tensiones que pueden generarse por los distintos usos del recurso hídrico (agrícola, urbano, industrial, turístico) este también puede darse por las diferentes instancias de gestión (público, privado y comunal). Dado que gran parte de la electricidad en Perú proviene de fuentes hidráulicas, el incremento de la demanda agrícola, impulsada por el crecimiento demográfico y la economía del país, junto con los efectos del cambio climático, provoca una mayor escasez de agua, afectando la seguridad hídrica de los diferentes sectores claves del país (The World Bank In Peru, 2024).

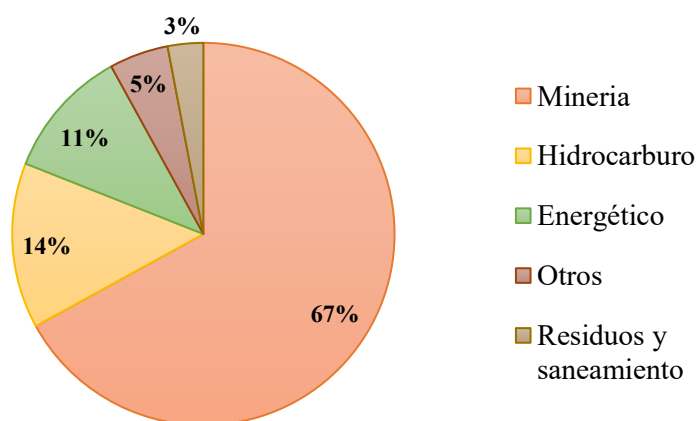
A pesar de que en el Perú existe la Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos, la cual establece que el acceso al agua constituye un derecho humano y que el uso primario del agua es prioritario sobre cualquier otro (Congreso de la República del Perú, 2009), de acuerdo a la Tabla 7, se han registrado 153 conflictos sociales vinculados al recurso hídrico entre los años 2011 y 2014, de los cuales 10 de ellos están relacionados al uso del agua para actividades económicas como los sectores de hidrocarburos, minería, energéticos y otros.

Estos indicadores detallan que el nivel de supervisión de la distribución del agua basado en las leyes y la normativa, en algunos casos no está siendo correctamente aplicada. Por ejemplo, véase en la Figura 9, donde se detalla que del total de conflictos socioambientales registrados entre el año 2011-2014 por la Defensoría del Pueblo, el 11% de casos se deben a conflictos sociales por actividades energéticas.

Tabla 7*Conflictos Sociales Vinculados a Recursos Hídricos, 2011-2014*

Demanda Social	Número	%
Protección del recurso hídrico	84	55%
Remediación del recurso hídrico	41	27%
Adecuada gestión del agua para el uso de actividades económicas.	10	7%
Acceso al agua para consumo humano	6	4%
Adecuada gestión del agua para consumo humano	5	3%
Reconocimiento de la ubicación territorial de la fuente de agua.	5	3%
Acceso al agua para el uso de actividades económicas.	2	1%
Total	153	100%

Nota. Datos tomados de la Defensoría del Pueblo (2015)

Figura 9*Conflictos Socioambientales Vinculados a Recursos Hídricos Por Actividades, 2011-2024*

Nota. Datos tomados de la Defensoría del Pueblo (2015)

2.8. Resumen del Capítulo

En este capítulo se presentó la síntesis de la caracterización del problema para el cual se ha desarrollado el presente trabajo de tesis. En este orden de ideas, se desarrollaron los datos vinculados con el caudal obtenido en las diversas cuencas, y el uso de reservorios para poder contar con la cantidad de agua requerida, de esta manera se evidenció que inclusive utilizando el agua que logra almacenarse en las épocas de avenida, la repercusión principal se encuentra en una reducción de hasta un 32% en la cantidad de energía generada. Esta métrica se elabora también considerando que conforme la Ley de Recursos Hídricos, el uso del agua para generar energía eléctrica tiene una caracterización del tipo secundaria.

Se presentó también la ubicación de las centrales hidroeléctricas de Orygen Perú, puesto que el problema de la escasez de agua durante las épocas de estiaje afecta directamente a los procesos de Planificación de la Producción y Gestión de la Hidrología, puesto que un déficit en el recurso hídrico impide el aprovechamiento de la totalidad de la capacidad de producción instalada en las centrales hidroeléctricas y reduce la posibilidad de incrementar los ingresos por una mayor venta de energía al mercado mayorista.

También se presentó en este capítulo las principales implicancias sociales que se tienen por la prioridad en el uso del agua, toda vez que la escasez del recurso viene generando conflictos en los diversos sectores económicos que requieren del agua para poder operar, entre estos se encuentran la agricultura, minería y también la generación de energía.

Capítulo III: Análisis Cuantitativo / Cualitativo

En el Capítulo III, se analiza el problema de escasez del agua en las centrales hidroeléctricas de Orygen Perú, abordándolas desde dos perspectivas complementarias: cuantitativa y cualitativa.

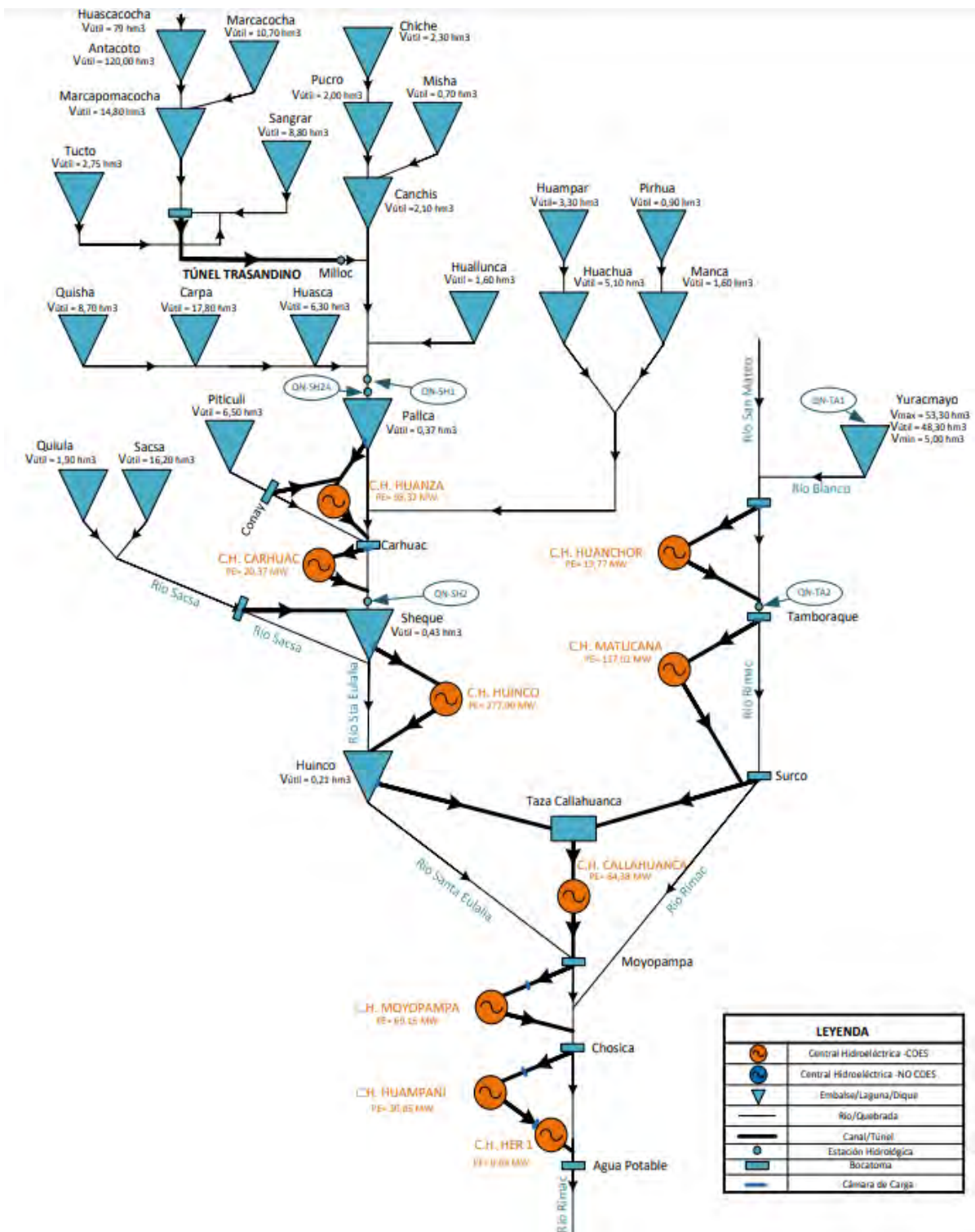
3.1. Análisis Cuantitativo

Para el análisis cuantitativo, se recolectó información asociada a las características técnicas de las centrales hidroeléctricas de Orygen Perú, así como la topología hidráulica de la cuenca en la que se encuentran, el caudal histórico y la producción ejecutada de las centrales, obtenidos de fuentes de acceso público como el COES-SINAC.

De la información de la Figura 10 se observa el diagrama topológico de la cuenca del Río Rímac, y la interrelación hidráulica que existe entre las centrales hidroeléctricas ubicadas en esta cuenca. Se observa la existencia de grandes reservorios, embalses y/o lagunas estacionales ubicadas aguas arriba de las centrales hidroeléctricas, los cuales sirven para guardar el agua en periodos de mayores lluvias y utilizarlo en periodo de escasez de este recurso. Asimismo, se observa el acople hidráulico existente entre las centrales hidroeléctricas Huinco y Matucana, y las Centrales Hidroeléctricas aguas abajo: Callahuanca, Moyopampa, Huampaní y Her, es decir, el caudal turbinado por las centrales hidroeléctricas Huinco y Matucana también puede ser aprovechado por estas centrales hidroeléctricas aguas abajo, adicionalmente, este caudal llega a la toma de agua de Sedapal para ser potabilizada y sirva para abastecer a la ciudad de Lima.

Figura 10

Diagrama Topológico de la Cuenca del Río Rímac

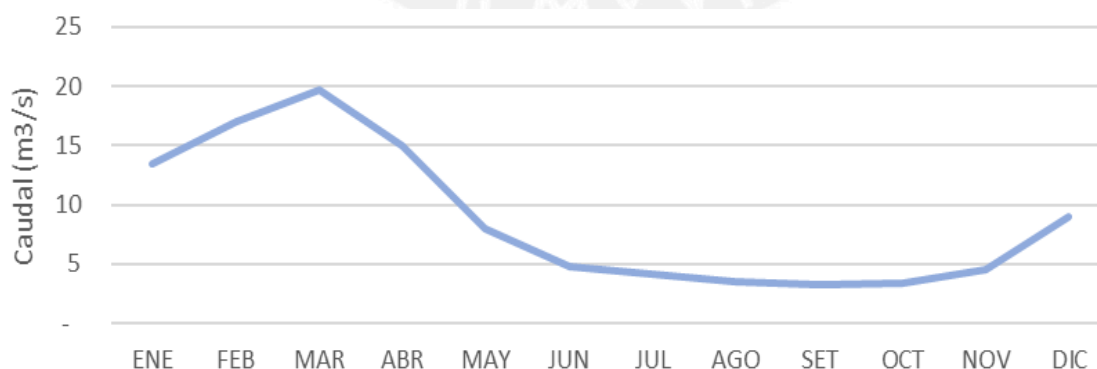


Nota. Datos tomados de COES SINAC (2023)

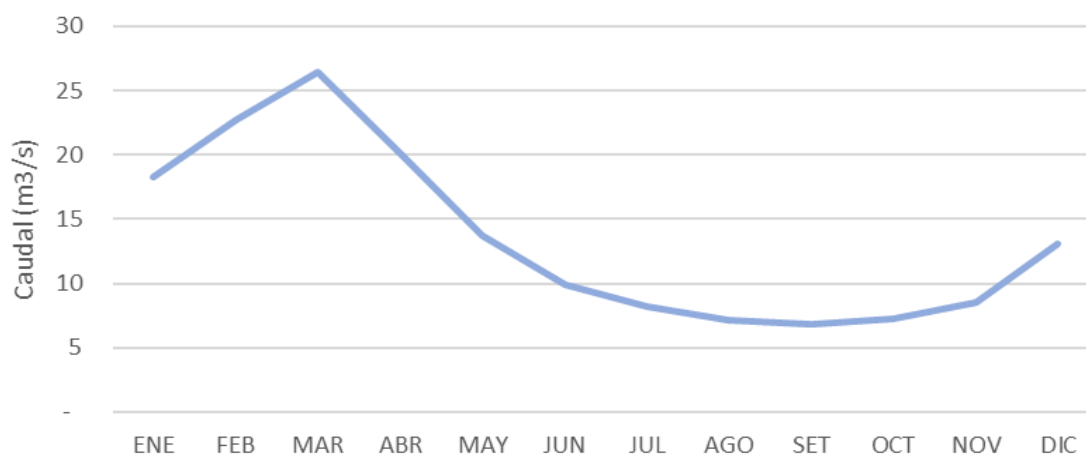
En la Figura 11 y la Figura 12 se observa el caudal natural promedio histórico en las tomas de Sheque (CH Huinco) y Tamboraque (CH Matucana). Se puede apreciar que el caudal natural en periodo de estiaje (Junio – Noviembre) disminuye enormemente respecto al periodo de avenida (Diciembre – Mayo), siendo esta disminución igual a 71% para el caso de Sheque y 58% para el caso de Tamboraque. Se espera que parte de esta disminución sea compensada por las descargas de caudal realizado de los embalses estacionales ubicados aguas arriba de las centrales hidroeléctricas, resultando en la producción promedio mensual de cada central hidroeléctrica de Orygen Perú ubicada en la cuenca, como se muestra en la Figura 13. Sin embargo, a pesar de ello, se nota una disminución relevante de la producción en periodo de estiaje respecto al periodo de avenida en las centrales hidroeléctricas Huinco, Matucana, Callahuanca y Moyopampa, las cuales muestran una disminución de 22%, 31%, 9% y 3%, respectivamente. Para el caso de Huampaní y Her, no se observa una disminución de producción en el periodo de estiaje debido a que el caudal que llega a estas centrales (Caudal natural más caudal descargado), tanto en periodo de avenida como de estiaje, es suficiente para operar estas centrales.

Figura 11

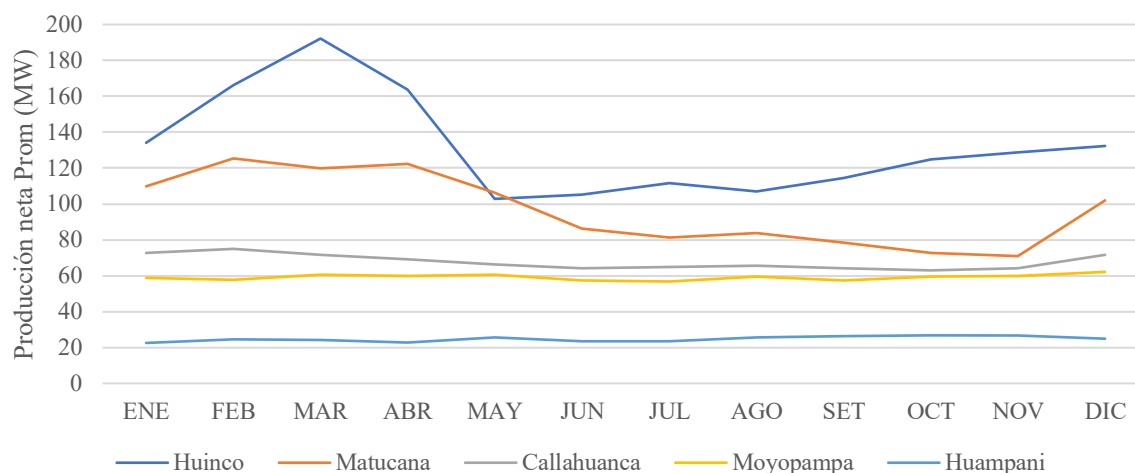
Caudal Natural Promedio Sheque (2001 - 2023)



Nota. Datos tomados de la estadística anual 2023 publicada en COES SINAC (2024)

Figura 12*Caudal Natural Promedio Tamboraque (2001 - 2023)*

Nota. Datos tomados de la estadística anual 2023 publicada en COES SINAC (2024)

Figura 13*Producción Promedio (2019 - 2023)*

Nota. Datos tomados de las estadísticas anuales publicadas en COES SINAC (2024)

La disminución en la producción, atribuida a la menor disponibilidad de recurso hídrico durante el periodo de estiaje, genera una pérdida de oportunidad para comercializar mayores volúmenes de energía en un contexto de precios más competitivos, tal como se observa en la Figura 14, Figura 15, Figura 16 y Figura 17. Al tomar como referencia el 85% de la producción promedio alcanzada durante el periodo de avenida en las centrales

hidroeléctricas Huinco y Matucana y su efecto en las centrales hidroeléctricas aguas abajo, esta reducción equivale a una pérdida anual estimada de 285 GWh, con una valorización aproximada de S/ 39,200,000.00.

Figura 14

Caso Central Hidroeléctrica Huinco

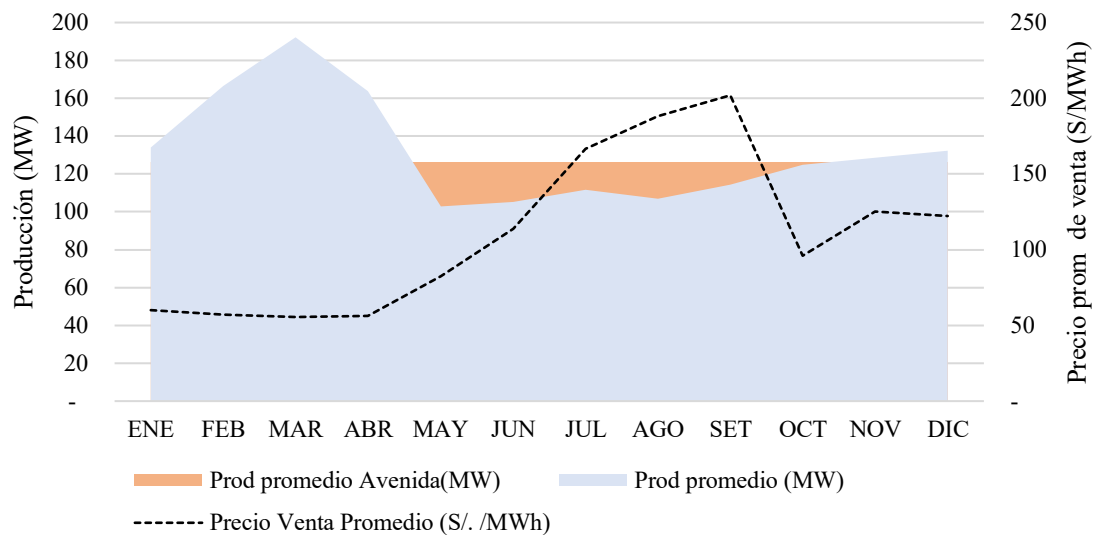


Figura 15

Caso Central Hidroeléctrica Matucana

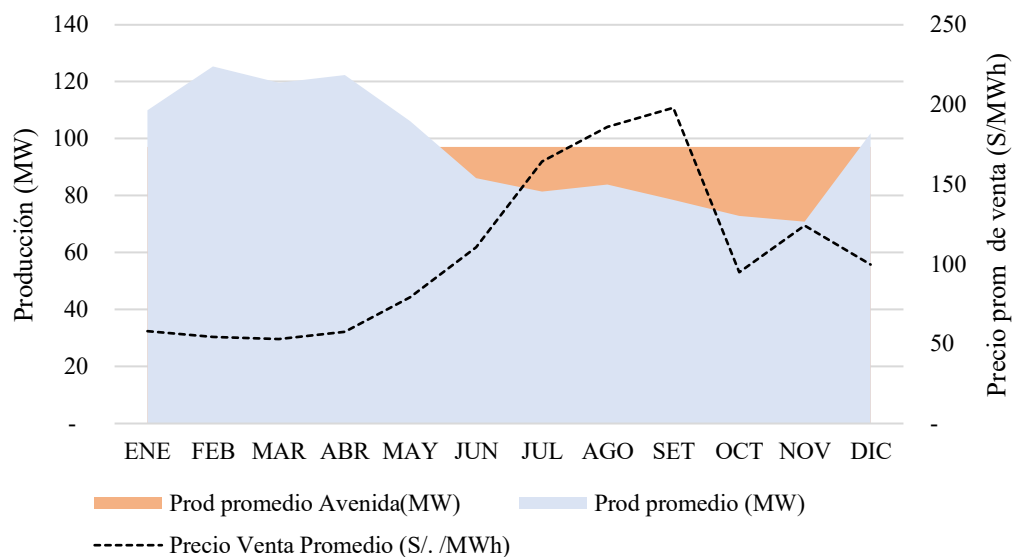
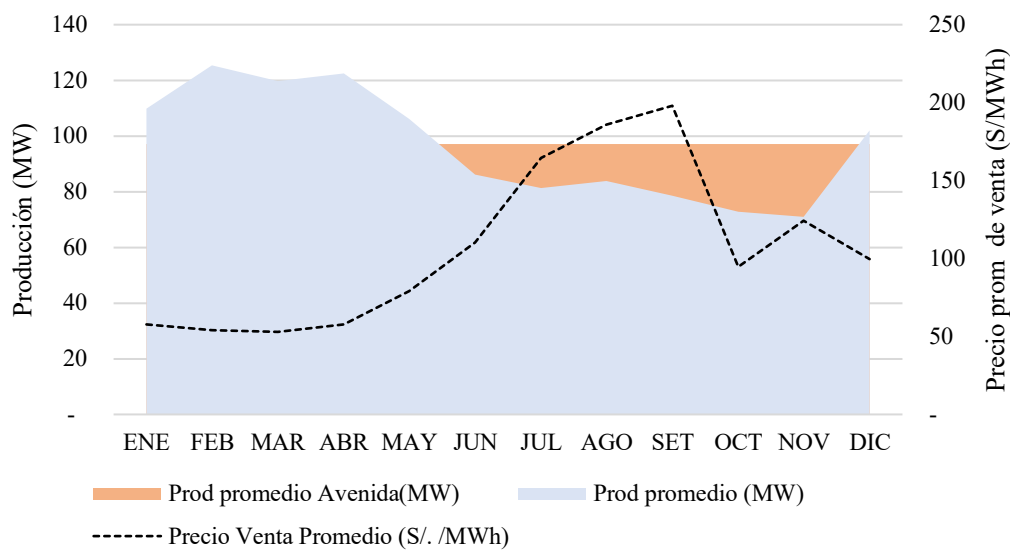
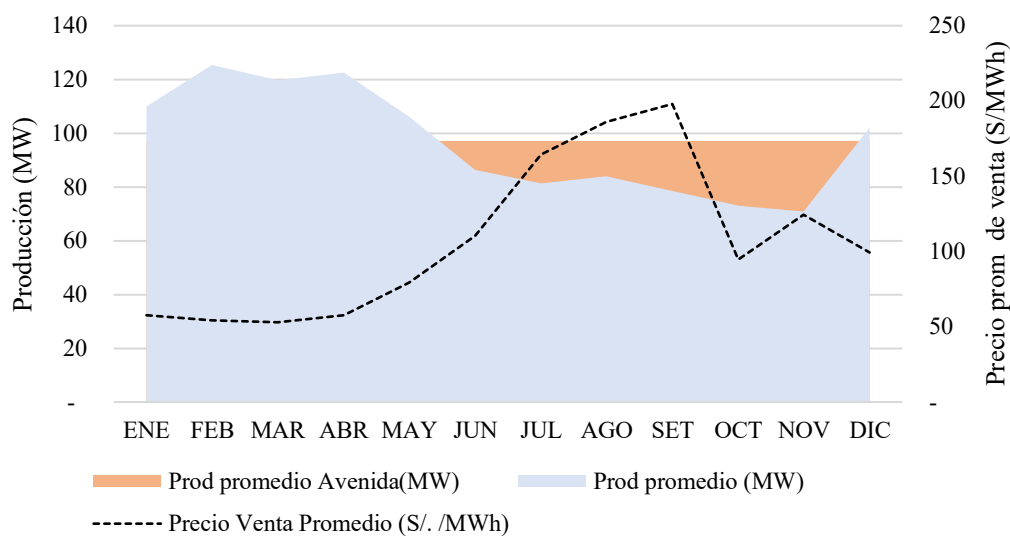


Figura 16*Caso Central Hidroeléctrica Callahuanca***Figura 17***Caso Central Hidroeléctrica Moyopampa*

3.2. Análisis Cualitativo

Para el análisis cualitativo se revisaron diversos reportes de operación de acceso público relacionados con las centrales hidroeléctricas de Orygen Perú. De estos se desprende que el problema de la escasez del recurso hídrico representa un desafío complejo que combina factores climáticos, operativos y regulatorios. La marcada estacionalidad del recurso

hídrico, caracterizada por un periodo de avenida y otro de estiaje, como se aprecia en la Figura 11 y Figura 12, limita la producción de energía eléctrica durante el periodo de estiaje, como se puede apreciar en la Figura 13, donde a pesar de contar con grandes reservorios estacionales estos no son suficientes para estabilizar completamente la producción entre ambos periodos. Este efecto es particularmente notable en las centrales hidroeléctricas Huinco, Matucana y Callahuanca, donde la producción puede disminuir hasta 31%, como se detalló en el análisis cuantitativo. Esta situación provoca un sub-aprovechamiento de la capacidad instalada de estas centrales hidroeléctricas, limitando su rendimiento económico.

Adicionalmente, la competencia por el uso del recurso hídrico entre diferentes sectores, como el consumo humano, la agricultura, el energético y el industrial, añade una dimensión social y regulatoria al problema. La Ley de Recursos Hídricos prioriza el uso del agua para consumo humano y agrícola sobre el uso energético, un marco legal que, aunque necesario para garantizar el bienestar de la población, puede generar tensiones entre diferentes usuarios, lo que puede derivar en conflictos sociales, especialmente en regiones donde la necesidad de agua es superior a su disponibilidad, situación que se agrava con el cambio climático.

En conclusión, la escasez de recurso hídrico es un problema multidimensional que afecta a las centrales hidroeléctricas de Orygen Perú como a los sectores sociales y económicos que dependen del agua. Este problema está estrechamente vinculado a fenómenos climáticos y regulatorios, es por ello que es fundamental una comprensión integral del problema para orientar adecuadamente las decisiones estratégicas que no solo mejoren los ingresos de Orygen Perú, sino que también fortalezcan las relaciones con sus stakeholders.

3.3. Resumen del Capítulo

En este capítulo, se abordó la problemática de la escasez de agua en las centrales hidroeléctricas de Orygen Perú desde dos perspectivas complementarias: cuantitativa y cualitativa.

El análisis cuantitativo reveló una marcada estacionalidad del recurso hídrico, con una notable disminución del caudal natural durante el periodo de estiaje, alcanzando reducciones del 71% en la toma de Sheque y 58% en Tamboraque, en comparación con el periodo de avenida. Aunque los embalses estacionales mitigan parcialmente este problema, las centrales hidroeléctricas presentan una reducción significativa en su producción durante el estiaje en relación con el periodo de avenida, siendo las disminuciones las siguientes: 22% en la central hidroeléctrica Huinco, 31% en Matucana, 9% en Callahuanca y 3% en Moyopampa. Por otro lado, las centrales hidroeléctricas Huampaní y Her no evidencian variaciones significativas en su producción. Considerando que las centrales hidroeléctricas Huinco y Matucana podrían mantener al menos el 85% de su producción anual, la escasez de recurso hídrico implica una pérdida de oportunidad de generar 285 GWh al año, equivalente a aproximadamente S/ 39,200,000.00.

Desde una perspectiva cualitativa, se identificó que la escasez del recurso hídrico no solo afecta la producción energética, sino que también implica desafíos sociales y regulatorios, por lo que puede provocar tensiones entre diferentes usuarios del recurso, especialmente cuando la necesidad del agua supera su disponibilidad.

En conclusión, la escasez de agua en las centrales hidroeléctricas de Orygen Perú es un problema multidimensional que combina factores climáticos, operativos y regulatorios. Su impacto no solo afecta los ingresos de la compañía, sino que también puede incrementar las tensiones sociales y la vulnerabilidad.

Capítulo IV: Análisis de la Causa Raíz del Problema

En el Capítulo IV, se abordará el análisis de la causa raíz del problema con el objetivo de identificar las causas principales de la escasez del recurso hídrico para la generación de energía en las centrales hidroeléctricas de Orygen Perú. Para el desarrollo de este análisis, se utilizará el diagrama de Ishikawa, permitiendo categorizar las causas y brindar un enfoque cuantificador para identificar la de mayor impacto.

4.1. Causas Identificadas

4.1.1. Causas Naturales

Las causas naturales de escasez de agua hacen referencia a la baja disponibilidad de este recurso hídrico por factores ambientales y climáticos en una zona geográfica determinada. Estas causas se agrupan en fenómenos meteorológicos extremos y cambios en los patrones climáticos (The Economist, 2022).

4.1.2. Cambios en los Patrones Climáticos

El cambio climático ha generado alteraciones en los patrones de precipitación a nivel global, y el Perú no es la excepción. En las últimas décadas, los estudios según el IPCC⁹ (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2023) han demostrado una disminución progresiva de las lluvias en diversas cuencas andinas, incluyendo aquellas que alimentan las centrales hidroeléctricas de Orygen Perú. Estos cambios en los patrones de precipitación afectan directamente la disponibilidad del agua para la generación hidroeléctrica, especialmente en las cuencas del río Rímac y Santa Eulalia, que son clave para el abastecimiento hídrico de estas centrales. La menor frecuencia e intensidad de las lluvias implica que, en periodos críticos, el caudal de agua disponible es insuficiente para cubrir la demanda de generación energética, lo que limita la operación a plena capacidad de las plantas hidroeléctricas y compromete la estabilidad del suministro.

⁹ Intergovernmental Panel on Climate Change.

En efecto, producto del cambio climático, está documentado en diversos estudios que analizan cómo las variaciones en la temperatura global impactan en la redistribución de las lluvias, acentuando periodos de sequía y reduciendo la recarga hídrica de las cuencas. Según el Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2023), el cambio en los patrones de precipitación en la región andina es una consecuencia directa del incremento de gases de efecto invernadero y del calentamiento global, lo que hace que esta variabilidad climática sea más extrema y frecuente (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2023). Esta situación de vulnerabilidad climática afecta la disponibilidad de agua en toda la región andina, poniendo en riesgo no solo la producción energética, sino también el acceso al agua para otros usos esenciales.

4.1.3. Fenómenos Meteorológicos Extremos

Los fenómenos naturales como sequías prolongadas y eventos extremos como inundaciones, fenómenos del niño o niña también son causas que producen baja disponibilidad del recurso hídrico en la generación de energía. Esto es debido a que, dado a su ubicación geográfica, el Perú es uno de los países más vulnerables a las variabilidades climáticas inter naturales, resultados del fenómeno de El Niño, La Niña y el cambio climático más a largo plazo (Banco Mundial, 2013).

La Cuenca del Río Rímac no es ajena a esto, como lo menciona SENAMHI (2016), *“La exposición a amenazas naturales, debido a factores hidrometeorológicos, es considerable en las cuencas de los ríos Rímac, Lurín, Chillón y en la parte alta del Mantaro”* (p. 147).

4.1.4. Causas Sociales

Las causas sociales que contribuyen a la escasez hídrica en la cuenca del río Rímac que abastece la mayoría de las centrales de Orygen Perú, están dados por factores demográficos, económicos y de gestión. Por ejemplo, el éxito económico de la actividad

agrícola ha provocado sobreexplotación de los acuíferos (Banco Mundial, 2013), lo cual evidencia de la escasez de los recursos hídricos.

4.1.5. Crecimiento Poblacional

Las cuencas de los ríos Chillón y Rímac son las principales fuentes de suministro de agua de la población urbana de Lima, se estima que diez millones de habitantes son provistas por estas fuentes donde el 69% del agua superficial es abastecida por el sistema del río Rímac (OCDE, 2021). En línea con ello, la población de Lima Metropolitana ha crecido de 7 millones en 1995 a 10 millones en el 2020 (INEI, 2020), impactando directamente la disponibilidad del recurso de agua para la generación de energía.

4.1.6. Competencia por el Uso del Agua

La ley de Recursos Hídricos, en su artículo número 35, reconoce tres tipos de uso de agua, cuyo orden refleja la prioridad para el otorgamiento y el ejercicio de ellos: uso primario, el cual es destinado para el consumo humano primario y es tomado desde las fuentes naturales y cauces públicos del agua; uso poblacional, destinado a satisfacer las necesidades humanas básicas y es captado desde una red pública debidamente tratada; y uso productivo, correspondiente a la utilización del agua en procesos de producción o previos a ellos (Congreso de la República del Perú, 2009). Asimismo, la cuenca del río Chillón, Rímac y Lurín, las cuales se encuentran las centrales hidroeléctricas de Orygen Perú, abastecen recursos hídricos de acuerdo a la siguiente distribución: para consumo humano (69%), sector de agricultura (22%) y sector industrial (8%) (AquaFondo, 2022); y con todos los intereses de por medio se pueden generar tensiones por un recurso como el agua que se vuelve cada vez más demandado (Castro Salvador, 2020), lo cual afecta el suministro del recurso hídrico para la generación de energía.

4.1.7. Gestión Ineficiente del Agua

La administración del agua en la cuenca del río Rímac, Lurín y Chillón se encuentra regulada por el ANA, entre otros organismos regulatorios para garantizar la protección y disponibilidad del recurso hídrico. Sin embargo, se refleja baja coordinación entre las autoridades locales y nacionales, y empresa privada para la coordinación e implementación de planes de infraestructura de distribución eficiente, integrado y el manejo eficaz del recurso hídrico. Los problemas institucionales en la gestión de la cuenca del río Rímac están vinculados a una estructura organizativa débil, la ausencia de mecanismos de participación conjunta y un marco legal confuso (Dourojeanni & Jouravlev, 1999). A pesar que se ha instaurado un sistema de Gestión Integral de Recursos Hídricos (GIRH), definiéndose como *“el proceso que fomenta la gestión y el desarrollo articulado para el uso y aprovechamiento multisectorial del agua así como sus recursos naturales con el objetivo de alcanzar el desarrollo sostenible”* (Autoridad Nacional del Agua, 2016), evidencian que la infraestructura y disponibilidad de agua en periodos secos no cuentan con un plan de contingencia, afectando directamente al suministro de agua para uso poblacional e industrial para la generación de energía.

4.2. Diagrama de Ishikawa

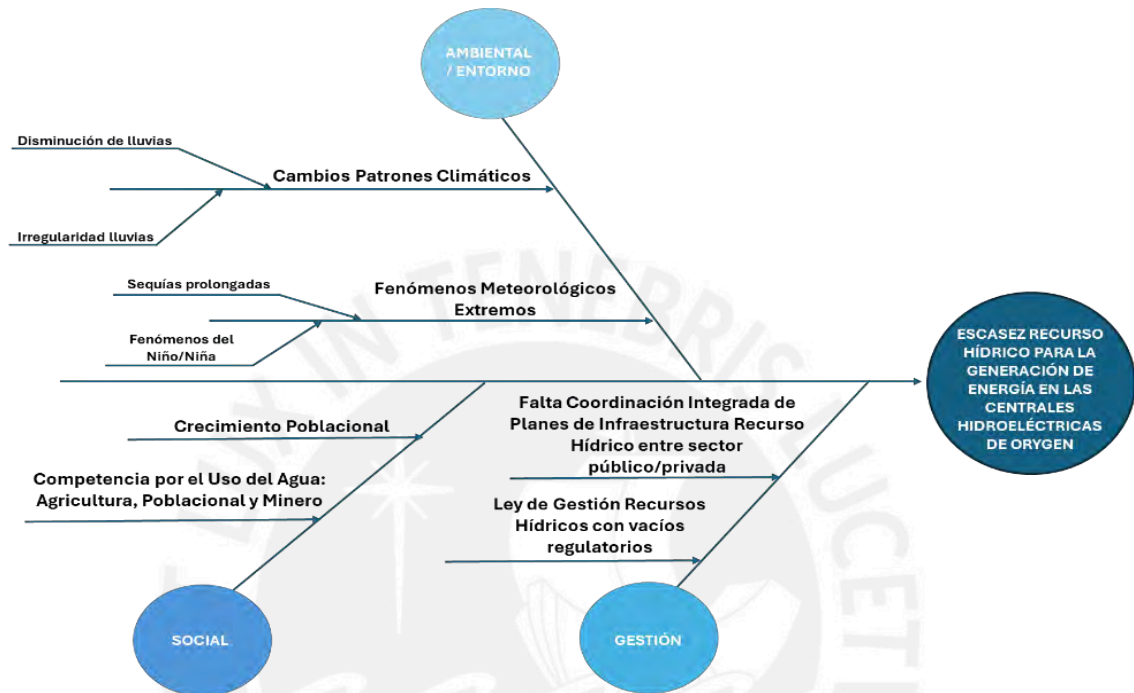
El diagrama de Ishikawa conocido como el esquema de causa-efecto, es una metodología que utilizaremos en este capítulo para identificar, analizar y visualizar gráficamente las causas de un problema específico (Ishikawa, 1986). A través de este diagrama se dividirán las causas presentadas anteriormente por categoría con el objetivo de poder identificar la causa crítica y presentar alternativas de solución para ella.

En la Figura 18, se presentan las causas enunciadas previamente agrupadas en las siguientes categorías: a) Ambiental/Entorno, hace referencia a factores de tipo climático o fenómenos naturales; b) Social, factores relacionados variables demográficos y geopolíticos

y, c) Gestión, relacionados al entorno de gestión regulatorio, normativo de la gestión de recursos hídricos.

Figura 18

Diagrama Ishikawa - Escasez Recurso Hídrico para Generación de Energía en Orygen



Nota. Adaptado de *Guide to Quality Control*, por K. Ishikawa, 1986, Tokio.

4.3. Principales Causas del Problema

Para determinar la principal causa del problema, se utilizó la matriz de priorización de causas, evaluando su gravedad y frecuencia en relación con su impacto tanto en la disponibilidad de recursos hídricos como en la operación de las centrales hidroeléctricas de Callahuanca y Matucana de la empresa Orygen Perú. Esta evaluación se llevó a cabo en colaboración con expertos de Orygen Perú, incluyendo la hidróloga Liliana Villaorduña y nuestro equipo de investigación. Esta colaboración permitió una perspectiva integral que considera tanto los datos históricos de disponibilidad hídrica como las proyecciones de demanda futura. Los criterios de gravedad y frecuencia fueron ponderados por los especialistas involucrados.

En la Tabla 8 se presentan las causas priorizadas, en las que se destacan los factores ambientales como las principales fuentes de la escasez hídrica. En esta ponderación, las causas relacionadas con el cambio climático y los fenómenos meteorológicos extremos recibieron el puntaje más alto tanto en gravedad como en frecuencia. Estas causas se consideran prioritarias debido a su impacto directo y determinante en la disponibilidad de agua en las cuencas de los ríos Rímac y Santa Eulalia, que abastecen a las centrales hidroeléctricas de Orygen Perú. La variabilidad en los patrones de precipitación, la disminución de lluvias y los eventos de sequías prolongadas limitan significativamente la captación de agua para la generación de energía.

Tabla 8

Matriz Priorización

Factor	Causa	Gravedad	Frecuencia	Total
Ambiental	Cambios Patrones Climáticos, disminución e irregularidades de lluvias	3	3	9
Ambiental	Fenómenos Meteorológicos Extremos debido a sequías prolongadas y fenómenos naturales	3	3	9
Social	Crecimiento Poblacional no alineado con el plan urbano de las ciudades	2	3	6
Social	Competencia por el Uso del Agua: Agricultura, Poblacional y Minero	2	3	6
Gestión	Vacíos regulatorios en la Ley de Recursos Hídricos	2	2	4
Gestión	Falta Coordinación Integrada de Planes de Infraestructura Recurso Hídrico entre sector público/privada	1	2	2

Nota: Datos recopilados de la entrevista con la hidróloga Orygen Perú. Apéndice B.

Por otro lado, aunque las causas sociales, como el crecimiento poblacional y la competencia por el uso del agua, incrementan la presión sobre el recurso hídrico, estos factores tienen una dependencia significativa de la disponibilidad natural del agua. El crecimiento de la población y el aumento de la demanda para uso agrícola y consumo humano intensifican la competencia por el agua, pero sin una disponibilidad mínima generada por las precipitaciones y almacenamientos sostenibles, la presión de estos factores sería aún más crítica.

Finalmente, los factores de gestión, tales como los vacíos regulatorios en la Ley de Recursos Hídricos y la falta de una coordinación integrada entre las entidades públicas y privadas, también contribuyen a la problemática. Sin embargo, estos aspectos toman un rol secundario en relación con las causas ambientales, las cuales son fundamentales para garantizar la disponibilidad del recurso. En la Tabla 8 se mostró esta jerarquización de causas, y evidencia que las principales causas a abordar son de carácter ambiental. Esta priorización respalda el enfoque en soluciones que aumenten la resiliencia del sistema hídrico frente a los efectos del cambio climático.

4.4. Resumen del Capítulo

El Capítulo IV se analizó las causas fundamentales de la escasez de agua que afecta la generación de energía en las centrales hidroeléctricas de Orygen Perú, con el propósito de identificar los factores principales que limitan el acceso a este recurso. Para organizar el análisis, se utilizó el diagrama de Ishikawa, que agrupó las causas en tres categorías: Ambientales, sociales y de gestión. Dentro de las causas ambientales, se resaltaron los cambios en los patrones climáticos y la presencia de fenómenos meteorológicos extremos como factores críticos que disminuyen la disponibilidad de agua en las cuencas del Rímac y Santa Eulalia, esenciales para la operación de estas centrales hidroeléctricas.

En cuanto a las causas sociales, se abordó aspectos como el crecimiento poblacional en la región de Lima y la competencia por el uso del agua que prioriza el consumo humano y agrícola por encima de la generación de energía. Además, se identificaron problemas en la gestión del recurso hídrico, entre ellos la falta de coordinación y vacíos en la Ley de Recursos Hídricos, que obstaculizaron la implementación de soluciones sostenibles y efectivas. A través de una matriz de priorización, se establecieron las causas ambientales como las de mayor relevancia en la escasez de agua, subrayando la necesidad de desarrollar infraestructuras resilientes que optimicen la captación y el almacenamiento de agua. Este capítulo concluye que, debido a la influencia determinante de los factores ambientales, es esencial priorizar soluciones que incrementen la resiliencia del sistema hídrico frente al cambio climático, enfatizando las infraestructuras estratégicas que permitan la captación y almacenamiento de agua para enfrentar condiciones climáticas adversas y asegurar la sostenibilidad en la generación de energía.

Capítulo V: Alternativas de Solución Evaluadas

En el Capítulo V, se evaluarán dos alternativas para mejorar la gestión del agua en la generación de energía hidroeléctrica de Orygen Perú. Estas alternativas planteadas son la rehabilitación de amunas y la construcción de embalses, con el objetivo de incrementar la disponibilidad de agua en periodos secos. En estas alternativas se evalúa la viabilidad técnica, impacto ambiental, costos y beneficios de cada opción. Finalmente, se utiliza una matriz de complejidad vs beneficio para determinar la solución más efectiva y sostenible a largo plazo.

5.1. Alternativas para Resolver el Problema

5.1.1. *Rehabilitación de Amunas para la Cosecha de Agua*

Las amunas es una técnica ancestral andina que consiste en la construcción de canales y reservorios para captar y almacenar agua de lluvia durante la temporada húmeda. Esta agua se infiltra en el suelo y recarga los acuíferos, liberándose gradualmente durante la temporada seca (Ver Apéndice B).

5.1.1.1. Viabilidad Técnica y Estudio de Implementación. Basándonos en los estudios realizados por Aquafondo, una organización especializada en la gestión y preservación de recursos hídricos de las cuencas de los ríos Rímac, Chillón y Lurín en la provincia de Huarochirí, departamento de Lima, se han evaluado proyectos de rehabilitación de amunas como la Amuna Antaquiña en Huachupampa, Cashapampa-Huisca en San Juan de Iris, Amuna Mirpa-Tambo en Huachupampa (Aquafondo, 2024). Estos estudios, realizados entre los años 2016 y 2023, analizaron el impacto de estas infraestructuras en la recarga hídrica de acuíferos, destacando su efectividad en incrementar la disponibilidad de agua en periodos de estiaje. En particular, los análisis realizados por Ohaira Ricra (2022) y Boris F. Ochoa-Tocachi (2019) complementan estas investigaciones al proporcionar datos cuantitativos sobre la capacidad de infiltración y recuperación hídrica de las amunas en condiciones climáticas y geográficas similares.

Basados en estos proyectos similares del Ministerio de Economía y Finanzas, se estima que la rehabilitación de 20 km de amunas a través de la habilitación de tramos que complementarían la infraestructura de almacenamiento de agua existente, liberando agua adicional que permitiría incrementar la producción hidroeléctrica en las centrales de Matucana y Callahuanca, especialmente durante los meses de estiaje (Ver Apéndice C).

5.1.1.2. Costo de Estimado. El costo aproximado de implementar 20 km amunas es de S/ 3,279,000, basado en estimaciones de costos de mano de obra local y materiales regionales, además del mantenimiento anual (Cárdenas Panduro, 2020).

5.1.1.3. Impacto Ambiental. La rehabilitación de amunas en las zonas altas de la cuenca del río Rímac, involucra el desarrollo de actividades de adecuación acordes con los ecosistemas y geografía de la zona. Es por ello que se estima que la solución propuesta sea de bajo impacto ambiental debido a que no se generan aspectos ambientales significativos durante la etapa de rehabilitación de una amuna ya que este tipo de infraestructura contribuye más bien con estabilizar los ecosistemas y favorecerla biodiversidad. Además, incrementaría la resiliencia del sistema hídrico frente a los cambios climáticos, asegurando una captación y almacenamiento eficiente del agua para su uso durante el estiaje.

5.1.2. Construcción de Embalse de Almacenamiento de Agua

La construcción de grandes embalses permite almacenar agua durante las temporadas de alta precipitación (avenida) para su uso durante las épocas de sequía (estiaje). Estos reservorios que pueden ser naturales o artificiales están diseñados para maximizar la capacidad de almacenamiento y minimizar la pérdida por evaporación y mejorar la eficiencia del suministro hídrico para diferentes usos, como la generación hidroeléctrica, el riego agrícola y el consumo humano.

5.1.2.1. Diseño del Embalse. El diseño de un embalse debe considerar varios factores clave, como la ubicación geográfica, la topografía, la capacidad de almacenamiento, y los

materiales de construcción. A continuación, se describen algunos aspectos fundamentales del diseño de un embalse:

- **Capacidad de Almacenamiento.** Se debe determinar la capacidad necesaria para almacenar suficiente agua que permita garantizar el suministro durante el estiaje. Esto se calcula considerando los caudales de entrada y salida, así como las necesidades hídricas de la central hidroeléctrica. Un embalse típico en la cuenca del río Rímac debería tener una capacidad de 10 a 20 millones de metros cúbicos para asegurar el suministro de agua durante los meses de sequía (Aquafondo, 2022).
- **Materiales de Construcción:** Los embalses se construyen típicamente utilizando concreto compactado con rodillo (RCC) o materiales impermeabilizantes que minimizan las fugas. En algunos casos, también se utilizan barreras de arcilla o geomembranas para reducir la pérdida de agua por infiltración.
- **Minimización de la Evaporación:** Para minimizar la pérdida de agua por evaporación, el embalse puede incluir cubiertas flotantes o vegetación en los bordes del embalse. Alternativamente, se puede optar por construir embalses subterráneos en zonas con alta exposición solar.
- **Drenaje y Desagüe Controlado:** El diseño debe incluir un sistema de drenaje eficiente para controlar la liberación gradual de agua. Las compuertas y válvulas permiten ajustar el flujo de salida según las necesidades hídricas de la central hidroeléctrica durante la época de estiaje.

5.1.2.2. Costo de Construcción. El costo de construcción de un embalse varía considerablemente en función de la capacidad, la ubicación y los materiales utilizados. A continuación, se presentan las estimaciones de costo basadas en estudios de embalses similares en Perú:

- **Costos de construcción.** Según el Ministerio de Economía y Finanzas (MEF), el costo promedio de construcción de un embalse grande en la región andina de Perú es de aproximadamente S/ 3,800,000 a S/ 19,000,000 por cada millón de metros cúbicos de capacidad (MEF, 2023). Para un embalse con una capacidad de 15 millones de metros cúbicos, se estima que el costo total de construcción oscilaría entre S/ 57,000,000 y S/ 285,000,000, dependiendo de las condiciones geográficas, los materiales empleados, y las tecnologías utilizadas para minimizar la evaporación y optimizar el almacenamiento (MEF, 2023).
- **Costos adicionales.** Los embalses requieren un mantenimiento continuo, que incluye la remoción de sedimentos acumulados, conocida como desazolve, el control de filtraciones y el monitoreo de las estructuras de contención. El costo anual de mantenimiento se estima en un 2% al 4% del costo total de construcción (Aquafondo, 2022). Los embalses tienen un impacto en el ecosistema local, por lo que es necesario destinar fondos para programas de mitigación ambiental y reforestación, cuyo costo varía entre S/ 1,900,000 y S/ 7,580,000, dependiendo de la magnitud del impacto.

5.2. Evaluación de alternativas

5.2.1. Rehabilitación de Amunas para la Cosecha de Agua

5.2.1.1. Viabilidad Técnica. La rehabilitación de amunas ha mostrado ser viable en diversas regiones andinas y en la provincia de Huarochirí, departamento de Lima, entre otros (Aquafondo, 2024).

Para el caso de las centrales hidroeléctricas de Matucana y Callahuanca, la rehabilitación de 20 km de amunas en las cuencas altas del río Rímac abastecería 2,257 miles de m³ de recurso hídrico adicionales entre mayo y diciembre, meses en las cuales estas centrales no tienen el caudal suficiente para operar a su máxima capacidad (ver Apéndice B). Las amunas están situadas en la provincia de Huarochirí, en el departamento

de Lima y atraviesan distritos como San Pedro de Casta, Callahuanca y Matucana ubicándose a altitudes que varían entre los 3,000 y 4,500 metros sobre el nivel del mar (AquaFondo, 2024). El cálculo de este aporte hídrico adicional se basa en estudios sobre la capacidad de infiltración de las amunas, y la capacidad de recuperación del volumen infiltrado y el tiempo correspondiente. La restauración de estas estructuras será llevada a cabo por equipos locales con conocimientos tradicionales, complementados por apoyo técnico especializado de AquaFondo para modernizar ciertos aspectos del sistema (Gelles, 2002).

5.2.1.2. Impacto Ambiental. Las amunas no solo contribuyen a la recarga de acuíferos y reducción de erosión, sino que favorecen la biodiversidad y estabilidad ecológica en las áreas de intervención. Además, su implementación incrementa la resiliencia del sistema hídrico frente a los efectos del cambio climático (ver Apéndice B).

5.2.1.3. Costo Estimado. La rehabilitación de las amunas es una solución económicamente accesible en comparación con otras infraestructuras hídricas modernas. Según Panduro (2020), el costo estimado para implementar amunas es de aproximadamente S/ 115 por metro lineal de canal o S/ 2.75 por metro cúbico de agua infiltrada. Basándonos en estos costos, se estima que la rehabilitación de 20 km de amunas costaría alrededor de S/ 3,279,000. En el Capítulo VII se detalla el desglose de estos costos, considerando factores específicos de mano de obra local, materiales, operación y mantenimiento, entre otros.

5.2.1.4. Beneficio. La rehabilitación de 20 km de amunas mejorará el suministro de agua para la producción hidroeléctrica en las centrales de Matucana y Callahuanca. El volumen total de agua infiltrado durante la temporada de estiaje será de aproximadamente 2,257 miles de metros cúbicos (m³) (Ver Apéndice B). Además de su función de recarga hídrica, las amunas también mejoran la biodiversidad, ayudan a controlar la erosión y

reducen la presión sobre los recursos naturales de la cuenca. Ver Apéndice B para un análisis más detallado de estos beneficios ambientales y sociales.

5.2.1.5. Tiempo de Implementación. El tiempo de ejecución para rehabilitar 1 kilómetro de amuna es de aproximadamente 1.6 semanas dependiendo de la complejidad del terreno y las condiciones climáticas (Aquafondo, 2022). Para rehabilitar los 20 km planificados, el tiempo total estimado es de 8 meses, tal como se indica en el cronograma de actividades del Capítulo VII.

5.2.2. Construcción de Embalses de Almacenamiento de Agua

5.2.2.1. Viabilidad Técnica. La construcción de embalses es técnicamente viable y ofrece una solución efectiva para almacenar agua durante la temporada de lluvias, liberándola gradualmente durante el estiaje. Esta alternativa requiere estudios exhaustivos de ingeniería hidráulica, análisis de factibilidad técnica y evaluación de impacto ambiental, como lo establece la Ley de Recursos Hídricos N.º 29338. Estos estudios son esenciales para asegurar que el embalse se integre adecuadamente en el sistema hídrico existente y minimice riesgos. Por tanto, aunque es una solución factible, implica un análisis de ingeniería detallado que considere las características específicas del terreno y del flujo de agua.

5.2.2.2. Impacto Ambiental. La construcción de embalses tiene impactos ambientales significativos que incluyen la alteración de ecosistemas locales, cambios en el régimen hidrológico de los ríos y la posible reubicación de comunidades cercanas. Ollero Ojeda (2017) detalla cómo la construcción de embalses puede generar contaminación, alterar el régimen fluvial y causar la pérdida de biodiversidad. Además, Rodríguez Villanueva (2018) destaca que los embalses afectan la fauna acuática, particularmente al interrumpir la migración de especies, y retienen sedimentos que son fundamentales para la fertilidad de los suelos aguas abajo, lo que genera impactos negativos en los ecosistemas fluviales.

Sin embargo, con una planificación adecuada y el uso de medidas de restauración ambiental, como la gestión controlada del caudal y la reforestación de áreas afectadas, es posible mitigar muchos de estos efectos.

Ecologistas en Acción (2018) resalta que los embalses transforman profundamente los valles donde se construyen, a menudo resultando en el desplazamiento de comunidades y la pérdida de hábitats naturales. Además, el informe de WWF (2021) enfatiza que las represas alteran los flujos de agua y bloquean las rutas migratorias de peces, lo que contribuye a la disminución de las poblaciones acuáticas. A pesar de estos impactos, con una evaluación adecuada de la ubicación y el diseño de estas infraestructuras, así como la implementación de medidas correctivas, se pueden reducir los efectos negativos sobre el medio ambiente y las comunidades afectadas.

5.2.2.3. Costos. Los costos de construcción de embalses en Perú son elevados debido a la magnitud de estas infraestructuras y sus complejos requisitos técnicos. Basándonos en datos del Ministerio de Economía y Finanzas del Perú, el costo de construcción de embalses en el país varía entre S/ 4,737,500 y S/ 62,467,100 por cada millón de metros cúbicos de capacidad de almacenamiento. Por ejemplo, el embalse proyectado de Autisha, con una capacidad de 30.29 millones de metros cúbicos, tiene una previsión de costo total aproximado de S/ 329,560,500 (Ministerio de Economía y Finanzas del Perú, 2022), mientras que la represa Jacaybamba en Lima, con una capacidad de 28.05 millones de metros cúbicos, requirió una inversión de S/ 291,886,900 (Ministerio de Economía y Finanzas del Perú, 2018).

5.2.2.4. Beneficio. Las represas juegan un papel fundamental en el suministro continuo de agua para comunidades urbanas y rurales, especialmente durante los periodos de sequía. Al almacenar grandes volúmenes de agua, estas infraestructuras aseguran que la agricultura y el consumo humano no se vean gravemente afectados por la falta de recursos

hídricos. Esto es esencial para garantizar el acceso al agua potable durante todo el año, lo que refuerza la seguridad hídrica de las comunidades (Rodríguez Villanueva, 2018).

Además, las represas permiten una generación continua de energía hidroeléctrica, incluso en épocas secas, lo que contribuye a la estabilidad del sistema energético y reduce la dependencia de fuentes no renovables, mejorando la sostenibilidad energética (Fundación Aquae, 2021).

Otro aspecto clave es la reducción de la vulnerabilidad frente a eventos extremos como sequías e inundaciones. Las represas ayudan a regular el flujo de agua, mitigando estos efectos adversos y garantizando un recurso confiable para el riego y otras necesidades (Hispagua, 2017). A nivel económico, su construcción y operación generan empleo local y fomentan el desarrollo económico en las zonas cercanas. Aunque las represas tienen impactos ambientales, su gestión adecuada puede contribuir a la mejora del entorno al regular el caudal del río y mantener la calidad del agua (Bonneville Power Administration, s.f.).

5.2.2.5. Tiempo de Construcción. La construcción de embalses en Perú generalmente requiere entre 3 y 5 años, un plazo que incluye el tiempo necesario para estudios preliminares, permisos, y la fase de construcción. Este rango se basa en proyectos recientes de embalses en el país, como se detalla a continuación:

- Embalse Autisha en la subcuenca Santa Eulalia (Distrito de San Antonio, Huarochirí, Lima): Tiempo estimado de construcción de 5 años (2024-2029) para un volumen de 30.29 Hm³ (Ministerio de Economía y Finanzas del Perú, 2022).
- Embalse del Río Grande en Cajamarca: Tiempo estimado de 3 años (2024-2027) para un volumen de 2.113 Hm³ (Ministerio de Economía y Finanzas del Perú, 2022).

- Represa Jacaybamba en Huaros, Canta, Lima: Tiempo estimado de 5 años (2022-2027) para un volumen de 28.05 Hm³ (Ministerio de Economía y Finanzas del Perú, 2018).
- Represamiento en la cuenca del río Sama en Tacna: Tiempo estimado de 3 años (2021-2024) para un volumen de 120 Hm³ (Ministerio de Economía y Finanzas del Perú, 2020).

5.3. Matriz de Complejidad vs Beneficio

En la Tabla 9, se realiza el análisis de la Matriz de Complejidad vs Beneficio que se llevó a cabo con la participación de expertos de Orygen Perú y nuestro equipo de investigación.

El criterio de asignación de puntos en la Matriz de Complejidad vs Beneficio, se empleó un sistema de evaluación que otorga puntajes a cada alternativa en función de cinco criterios clave: viabilidad técnica, impacto ambiental, costo, beneficio y tiempo de implementación. La asignación de puntos busca reflejar la complejidad de cada alternativa, donde menores puntajes indican menor complejidad y mayor viabilidad. Cada criterio fue evaluado con una escala del 1 al 3, de acuerdo con su impacto y relevancia, asignándose ponderaciones específicas según su importancia en el contexto del proyecto. A continuación, se detallan las definiciones y rangos para cada criterio:

5.3.1. Viabilidad Técnica

- **Puntaje 3 (Alta):** Es técnicamente viable y se ha implementado exitosamente en proyectos similares. No requiere de tecnologías o conocimientos excesivamente complejos, lo que facilita su implementación.
- **Puntaje 2 (Media):** Es técnicamente viable, pero presenta desafíos moderados que requieren tecnología o conocimientos adicionales. Puede requerir adaptaciones a las condiciones específicas del proyecto.

- **Puntaje 1 (Baja):** Enfrenta limitaciones técnicas significativas que complican su implementación, lo que puede requerir tecnologías avanzadas o innovaciones complejas no probadas en contextos similares.

5.3.2. *Impacto Ambiental*

- **Puntaje 3 (Alto Impacto):** Conlleva un impacto ambiental significativo que puede afectar la biodiversidad y los ecosistemas circundantes. Requiere medidas estrictas y costosas para mitigar los efectos adversos.
- **Puntaje 2 (Medio Impacto):** Tiene un impacto ambiental que puede manejarse con ciertas medidas de mitigación. Los efectos en el ecosistema son moderados y reversibles.
- **Puntaje 1 (Bajo Impacto):** Genera un impacto ambiental mínimo y contribuye a la conservación de los ecosistemas naturales. Tiene efectos positivos en la biodiversidad y en la sostenibilidad de los recursos.

5.3.3. *Costo*

- **Puntaje 3 (Alto Costo):** Es costosa de implementar y mantener, requiriendo una inversión considerable.
- **Puntaje 2 (Costo Moderado):** Presenta un costo medio y requiere inversión moderada para su construcción y mantenimiento.
- **Puntaje 1 (Bajo Costo):** Implica costos iniciales y de mantenimiento bajos, haciéndola accesible económicamente.

5.3.4. *Beneficio*

- **Puntaje 3 (Alto Beneficio):** Proporciona un beneficio significativo y duradero, mejorando la disponibilidad y la gestión de los recursos hídricos para la generación de energía de manera constante.

- **Puntaje 2 (Beneficio Moderado):** Ofrece beneficios importantes, pero con un impacto menor o a más corto plazo.
- **Puntaje 1 (Bajo Beneficio):** Ofrece beneficios limitados o específicos que no contribuyen significativamente a la gestión a largo plazo del recurso hídrico.

5.3.5. *Tiempo de Implementación*

- **Puntaje 3 (Largo Plazo – más de 5 años):** Requiere un largo periodo de implementación, lo que pospone los beneficios hasta el mediano o largo plazo.
- **Puntaje 2 (Medio Plazo – 2 a 5 años):** Requiere un tiempo moderado de implementación, lo que retrasa la obtención de beneficios inmediatos.
- **Puntaje 1 (Corto Plazo – 12 a 24 meses):** Puede implementarse rápidamente, lo que permite obtener resultados en un periodo corto.

Este sistema de evaluación ponderada busca identificar la alternativa más efectiva y sostenible, maximizando beneficios, minimizando impactos negativos y asegurando un suministro de agua para la generación de energía hidroeléctrica en Orygen Perú.

Tabla 9

Análisis de Matriz de Complejidad vs Beneficio

Criterio	Peso (%)	Rehabilitación de Amunas	Construcción de Embalses
Viabilidad Técnica	25	3	2
Impacto Ambiental	-20	1	2
Costo	-20	1	3
Beneficio	25	3	3
Tiempo de Implementación	10	1	3
Total Ponderado	100	120	55

Con base en los puntajes asignados, la rehabilitación de amunas obtuvo un puntaje total ponderado de 120, mientras que la construcción de embalses alcanzó 55. En este análisis, un mayor puntaje refleja una alternativa más viable y efectiva para su

implementación. Este resultado destaca que la rehabilitación de amunas es la alternativa más beneficiosa para Orygen Perú, debido a su alta viabilidad técnica, menor impacto ambiental y menores costos y tiempo de implementación en comparación con la construcción de embalses. Además, esta alternativa permite una gestión hídrica sostenible, complementando los recursos existentes y garantizando una mayor estabilidad en la generación hidroeléctrica durante los periodos de estiaje, lo que beneficia tanto a la operación de las centrales como a las comunidades locales.

Además, esta alternativa se alinea con prácticas sostenibles y la preservación del conocimiento tradicional, resaltando la importancia de la rehabilitación de amunas como una solución viable y ecológica para la gestión de recursos hídricos, por estas razones, la rehabilitación de amunas se posiciona como la mejor alternativa para enfrentar los desafíos hídricos de Orygen Perú.

5.4. Resumen del Capítulo

En este capítulo, se evaluaron dos alternativas principales para abordar la gestión hídrica en la generación de energía hidroeléctrica de Orygen Perú: la rehabilitación de amunas y la construcción de embalses. Cada opción fue analizada en términos de viabilidad técnica, impacto ambiental, costos y beneficios, con el objetivo de identificar la solución más efectiva y sostenible a largo plazo. La rehabilitación de amunas, una técnica ancestral andina que permite la captación y almacenamiento de agua de lluvia para su liberación gradual durante la temporada seca se consideró como una opción de bajo costo y alto impacto ambiental positivo, dado que favorece la recarga de acuíferos y complementa el suministro de agua a las centrales hidroeléctricas de Matucana y Callahuanca. La rehabilitación de 20 km de estas estructuras ayudará a aumentar la disponibilidad de agua en los meses críticos de estiaje.

Por otro lado, la construcción de embalses se evaluó como una opción viable pero más costosa y con mayor impacto ambiental, aunque beneficiosa para el almacenamiento de grandes volúmenes de agua durante la temporada de lluvias. Esta alternativa podría aportar significativamente al suministro hídrico en épocas secas, pero presenta mayores desafíos técnicos y de gestión ambiental.

Mediante la matriz de complejidad vs beneficio, se determinó que la rehabilitación de amunas es la opción más conveniente para Orygen Perú, dado su alta viabilidad técnica, bajo costo, su menor impacto ambiental y su alineación con las prácticas sostenibles de gestión hídrica.



Capítulo VI: Solución Propuesta

En el Capítulo VI, se presenta la propuesta de rehabilitación de amunas como la alternativa de solución para poder obtener la cantidad de agua adicional que permitirá la producción de energía eléctrica adicional en la Central Hidroeléctrica Matucana. Las amunas tienen como principal objetivo aprovechar el excedente de caudal, que se genera en la época de avenida, a través de sistemas de infiltración, de forma que se incremente la disponibilidad hídrica en los meses de estiaje para que sea aprovechado por la central hidroeléctrica de Matucana y también por la central hidroeléctrica de Callahuanca.

6.1 Geolocalización y Características de las Amunas

Con el objetivo de poder identificar el excedente de agua que podrá ser infiltrado a través de las amunas y posteriormente emerger en manantiales que aportan agua al río Rímac los siguientes meses (de mayo a diciembre), beneficiando la producción de las centrales hidroeléctricas de Matucana y Callahuanca, es que resulta necesario analizar la cantidad de caudal excedente.

Con base a la información de COES SINAC (2024), se elaboraron los gráficos que se presentan en la Figura 19 y la Figura 20. En la Figura 19, se observa que en promedio el caudal del río Rímac tiene un valor alrededor de $22.2 \text{ m}^3/\text{s}$ desde la Semana N°1 hasta la semana N°17, lo cual corresponde a las últimas semanas de abril. De acuerdo con la información de la Tabla 10, este caudal es superior al requerido por la Central Hidroeléctrica Matucana para operar a plena carga, el cual es $15.8 \text{ m}^3/\text{s}$, por lo cual se genera un caudal excedente de $6.4 \text{ m}^3/\text{s}$, como resultado del agua obtenida de la lluvia, la cual es captada y conducida en las amunas. Este caudal excedente que se obtiene se infiltra en las épocas de avenida y tiene el potencial para ser liberado a través de filtraciones en las épocas de estiaje.

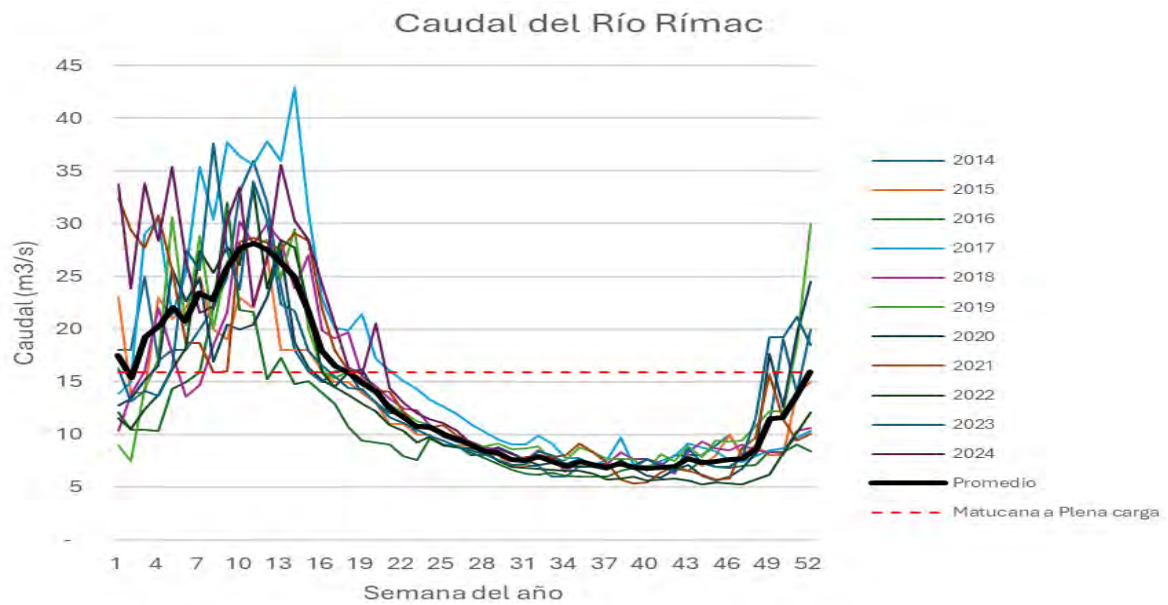
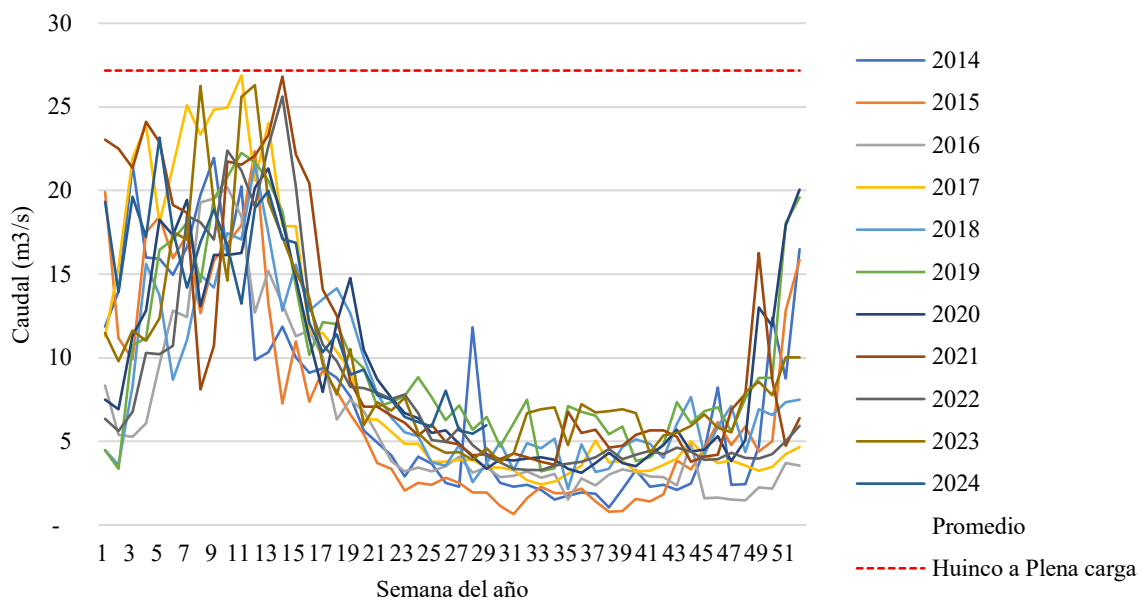
Figura 19*Caudal Promedio Semanal del Río Rímac del 2014 al 2024**Nota.* Datos tomados de COES SINAC (2024)**Figura 20***Caudal Promedio Semanal del Río Santa Eulalia (2014 - 2024)**Nota.* Datos tomados de COES SINAC (2024)

Tabla 10*Características Centrales Hidroeléctricas Orygen en la Cuenca Río Rímac*

	Potencia Efectiva (MW)	Caudal turbinable (m ³ /s)	Factor de producción (MW / m ³ /s)
Huinco	277.9	27.2	10.2
Matucana	137.0	15.8	8.7
Callahuanca	84.4	24.7	3.4
Moyopampa	69.1	19.3	3.6
Huampaní	30.9	21.2	1.5
Her	0.7	18.3	0.04

Nota. Datos tomados de COES SINAC (2024)

El caudal adicional en el periodo de estiaje proveniente de las amunas también llegaría a las Centrales Hidroeléctricas Moyopampa, Huampaní y Her I, sin embargo, el efecto sería poco relevante, dado que en condiciones regulares estas centrales ya cuentan con caudal suficiente para operar a casi plena carga durante todo el año, puesto que el valor máximo que requieren en las épocas de estiaje no sobrepasa los 19.3 m³/s, 21.2 m³/s y 18.3 m³/s, respectivamente, según la Tabla 10. Este caudal no generaría un beneficio económico en condiciones regulares, actúa como un refuerzo en caso de un escenario climático adverso, como una sequía, que podría causar escasez de agua.

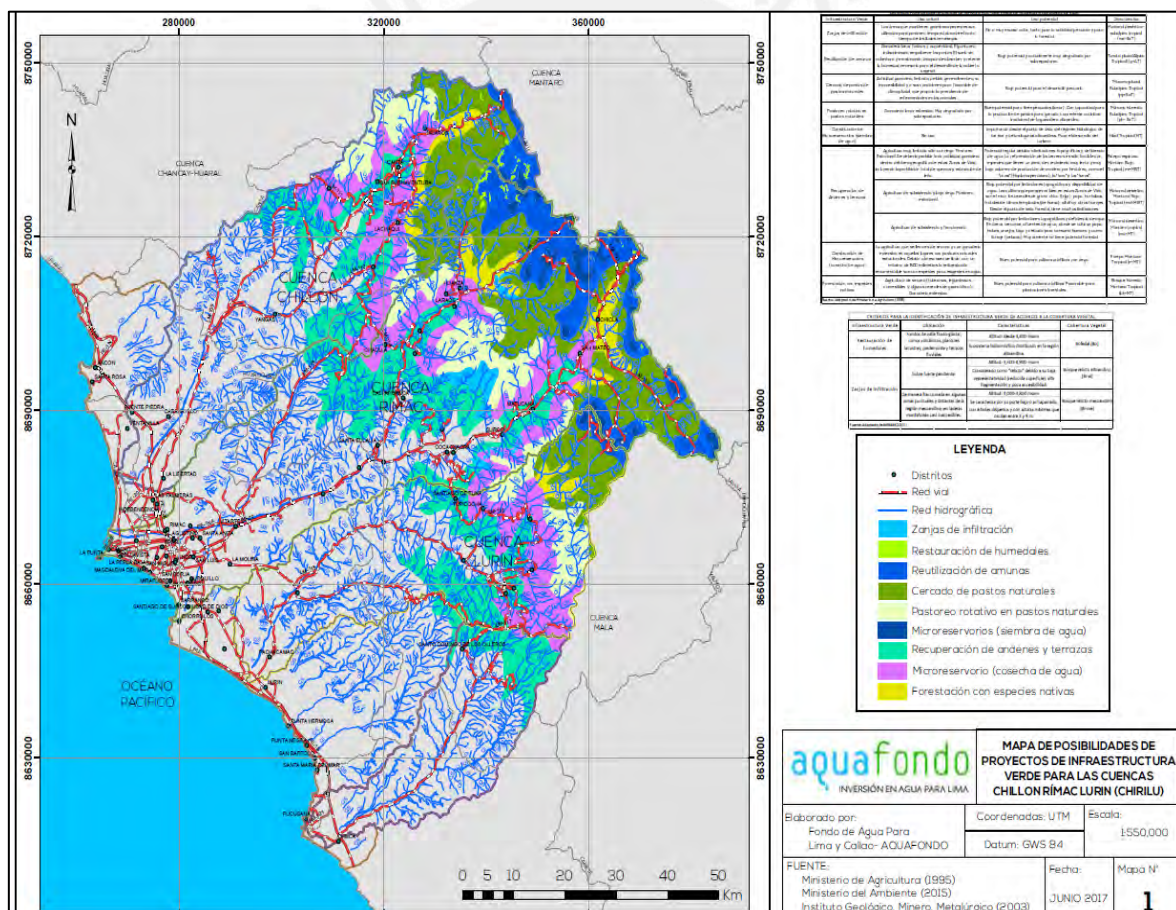
Además, se ha identificado de zonas con potencial de desarrollo de infraestructura verde en las cuencas Chillón, Rímac y Lurín (AquaFondo, 2017). En la Figura 21, se aprecia áreas (sombreadas en azul) con potencial para reutilización de amunas, las cuales podrían ser rehabilitadas y optimizadas por medio de actividades constructivas menores de las que participan las comunidades cercanas, en concordancia con ello son los pobladores quienes participan directamente de la adecuación de la infraestructura de una amuna, siendo este conocimiento parte del legado que van transmitiendo en cada una de las generaciones de su comunidad. Es por ello que las empresas u organizaciones participantes de la iniciativa tienen también la responsabilidad de poder dotar a todos los pobladores de los recursos y elementos

necesarios para que puedan llevar a cabo su tarea, esto claro de manera adicional al pago del jornal acorde para estas actividades.

Algunas de estas áreas con potencial para reutilización de amunas se encuentran aguas arriba de la toma de agua Tamboraque. Esta toma capta el agua el río Rímac para ser utilizada por la Central Hidroeléctrica Matucana y, posteriormente, a la Central Hidroeléctrica Callahuanca para la producción de energía eléctrica.

Figura 21

Mapa de Posibilidades de Proyectos de Infraestructura Verde las Cuencas Chillón, Rimac y Lurín (CHIRILU)



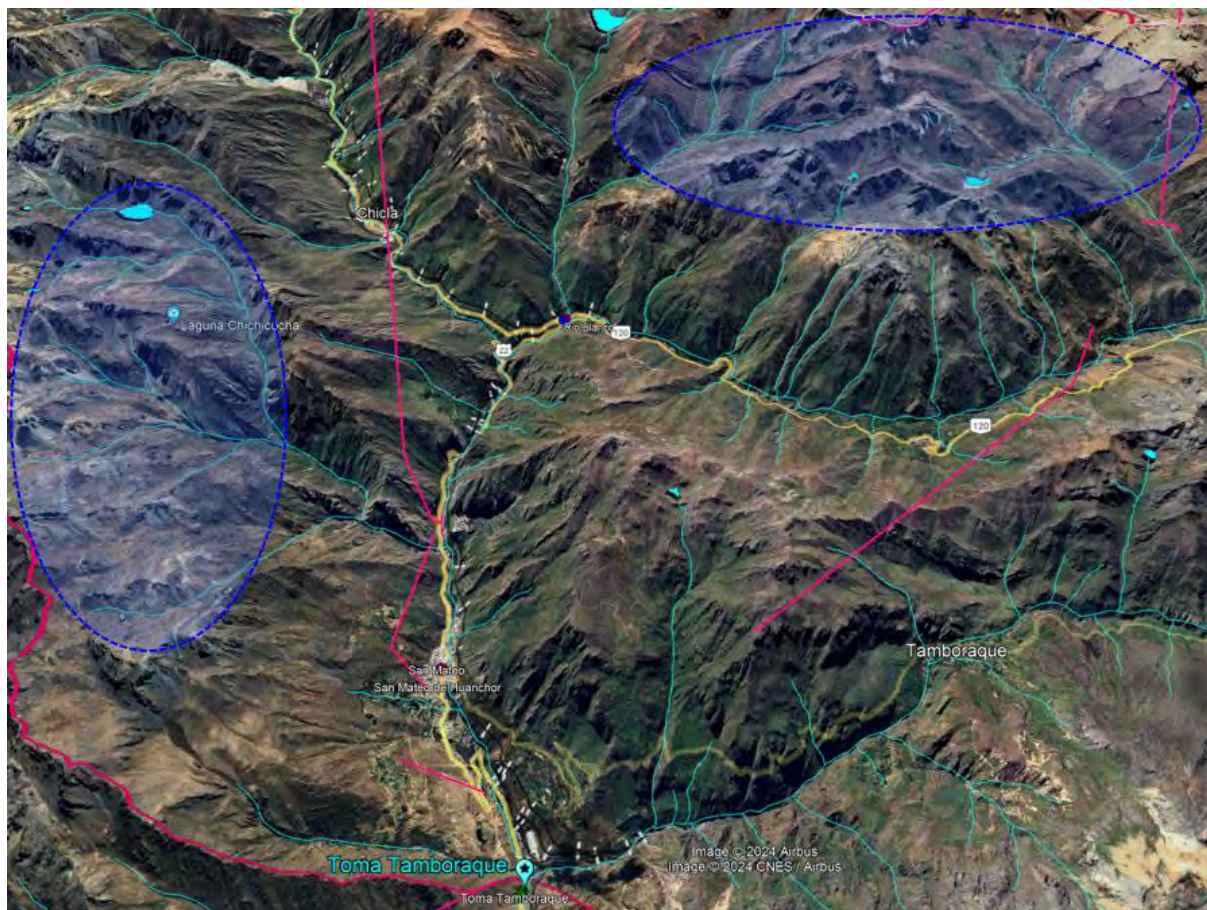
Nota. Datos tomados Aquafondo (2017)

De manera complementaria a la Figura 21 donde se observa el mapa de posibilidades de proyectos de infraestructura verde en las cuencas del río Chillón, Rímac y Lurín, en la

Figura 22, se presenta una imagen satelital con las quebradas resaltadas en círculos de color azul que, de acuerdo con Aquafondo (2017), tienen el potencial para reutilización de amunas.

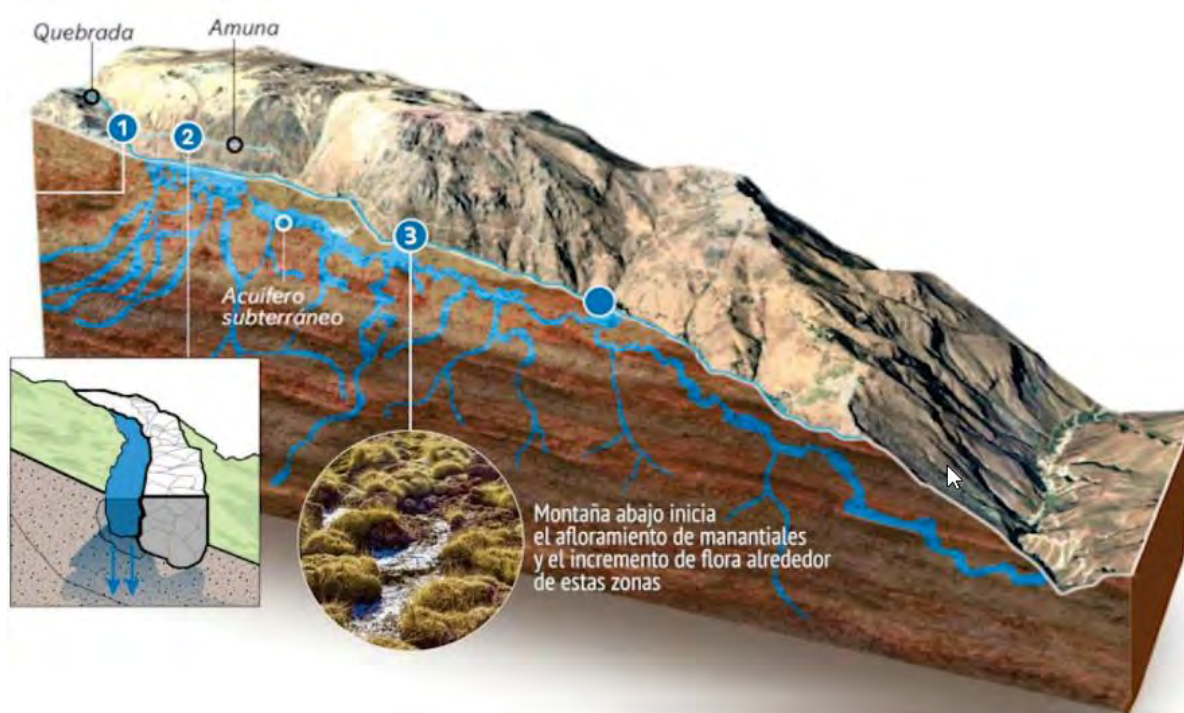
Figura 22

Quebradas Próximas a Toma de Agua Tamboraque



Nota. Datos recopilados de Google Maps

Una vez se implementen las amunas, estas quebradas aportarían recurso hídrico entre los meses de enero y abril, permitiendo la infiltración que retardará el flujo a través de las capas subterráneas y permitirá el afloramiento de manantiales, aportando caudal adicional al río Rímac entre mayo y diciembre, como se aprecia en la Figura 23.

Figura 23*Infiltración de Agua Mediante Amuna y Posterior Afloramiento en Manantiales*

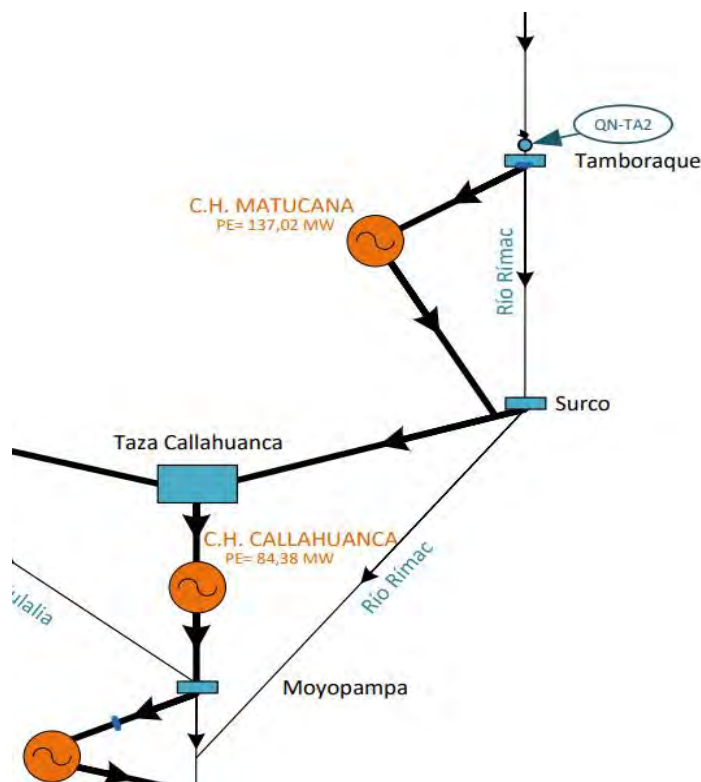
Nota. Adaptado de Aquafondo (2024)

En la Figura 24, se muestra como la Toma Tamboraque, ubicada en el Río Rímac, capta recursos hídricos para las Centrales Hidroeléctricas Matucana y Callahuanca. De acuerdo con los cálculos mostrados en el Apéndice C, se concluye que, al llevar a cabo la restauración de 20 km de amunas, se podría contar con un recurso hídrico adicional de 2,257 mil m³ entre mayo y diciembre, lo que equivale a una producción de 7,565 MWh adicionales de energía eléctrica, y representa un potencial ingreso de S/ 869,939.00 anuales en el Mercado Mayorista de Electricidad (MEM)¹⁰, considerando un costo marginal de la energía de 115 S/MWh. Cabe indicar que el detalle de los cálculos se detalla en el Apéndice C.

¹⁰ El MEM es el espacio donde se realizan las transacciones de compra y venta de electricidad entre los diferentes agentes del sector eléctrico, como generadores, distribuidores y grandes consumidores.

Figura 24

Enfoque de la Topología Hídrica de la CH Matucana y la CH Callahuanca



Nota. Datos adaptados de COES SINAC (2023)

6.2 Resumen del Capítulo

Los resultados del análisis reflejan que existe un caudal excedente en del río Rímac durante la temporada de lluvias que supera el requerimiento máximo de la Central Hidroeléctrica Matucana. Este excedente podría infiltrarse a través de infraestructura verde como las amunas, las cuales ayudarían a recargar los acuíferos y a incrementar el caudal del río en $0.11 \text{ m}^3/\text{s}$ entre los meses de mayo y diciembre. Este incremento de caudal beneficiaría a las centrales hidroeléctricas Matucana y Callahuanca con un incremento de producción de 7,565 MWh anuales, lo que representa un ingreso adicional en el Mercado Mayorista de Electricidad de S/ 869,939 anuales, asimismo, también reforzaría el suministro para otras centrales de la cuenca en casos de escenarios climáticos adversos. La restauración de amunas en áreas con potencial hídrico, además de ofrecer beneficios económicos como un aumento

en la producción energética, puede representar un aporte significativo en la gestión del recurso hídrico a largo plazo y en la resiliencia del sistema hidroeléctrico ante sequías.



Capítulo VII: Plan de Implementación y Factores Clave de Éxito

En el Capítulo VII se presenta la planificación de actividades y presupuesto requerido para poder realizar el reforzamiento de los 20 km de amunas necesarios para lograr la infiltración de agua. Asimismo, se detallan los factores de éxitos claves que deben considerarse para la implementación de la solución.

7.1. Diagrama de Gantt de Implementación

El plan de implementación de amunas para Orygen Perú está estructurado por fases de desarrollo donde se describen las actividades de forma secuencial iniciando desde el diagnóstico inicial hasta el cierre del proyecto. Esta planificación detalla la temporalidad de cada actividad, resultados esperados en cada etapa, así como los recursos necesarios para llevarse a cabo.

Asimismo, el diagrama Gantt de implementación propuesto se basa en las actividades de proyectos de adecuación y/o mantenimiento de amunas, presentados en su mayoría, a través de expedientes técnicos registrados en el portal *Invierte* del Ministerio de Economía y Finanzas del Perú, proyectos de Infraestructura Natural para la Seguridad Hídrica (INSH) y la Autoridad Nacional del Agua (ANA).

En la Tabla 11, se detallan los tiempos de ejecución para la fase de construcción de obras civiles para la implementación de amunas de naturaleza similar, las cuales forman parte de datos referenciales para la propuesta del cronograma total de implementación de Amunas Orygen Perú.

Tabla 11*Periodo de Ejecución en Rehabilitación de Amunas*

Proyecto	Ubicación	Longitud Amuna (Km)	Periodo de Ejecución Obra	Tiempo (Meses)	Mes/Km
Mejoramiento de la Amuna Saywapata	San Pedro de Casta, Huarochirí. Lima (Rimac)	1,94	Sept - Nov 2021	3	1,5
Rehabilitación de Amuna Cayrachin	San Pedro de Casta, Huarochirí. Lima (Rimac)	1,2	Jul - Oct 2018	3	2,5
Rehabilitación de Amuna Chucuwasi	San Pedro de Casta, Huarochirí. Lima (Rimac)	2	Abril - Jun 2019	2	1,0
Recuperación de Amunas Casca Amarilla-Chuchuhuaycha, Yanachuwchi-Pampachacra	San Pedro de Casta, Huarochirí. Lima (Rimac)	4	Abr - Oct 2020	5	1,25
Rehabilitación de Amuna Senega-Tambo	San Pedro de Casta, Huarochirí. Lima (Rimac)	8,45	May- Ago 2021	3	0,35
Mejoramiento de estructuras dañadas de las Amuna Shucuni	San Pedro de Casta, Huarochirí. Lima (Rimac)	2,1	Agos-Sept 2021	2	1,0
Total de Km de Amuna		19,69	Total de meses requeridos	18	

Nota. Datos adaptados de Proyectos Aquafondo (2024).

A partir de esta evaluación, se plantean cinco fases secuenciales con una duración total de 18 meses de proyecto. La primera fase de planificación y diagnóstico orientada a realizar estudios preliminares de la construcción de amunas con una duración de tres (03) meses; seguido de la segunda fase que tiene como objetivo la elaboración del expediente técnico, así como la gestión de licencias y permisos para la ejecución de obras civiles, con

una duración de cuatro (04) meses. La fase tres consta de actividades relacionados al proceso licitatorio para la ejecución de la obra con una duración de dos (02) meses; la fase cuatro, ejecución de obra, la cual describe las actividades para la implementación y construcción de amunas con una duración de ocho (08) meses; y finalmente, la fase cinco, que incluye actividades de monitoreo y cierre del proyecto planificado para dos (02) meses.

En la Tabla 12, se presenta el diagrama de Gantt detallado por fases, actividades, resultados esperados, temporalidad y recursos requeridos por cada uno de ellos.

La construcción y puesta en valor de amunas involucra etapas de análisis y estudios geográficos previos, así mismo también contempla la gestión de permisos con los cuales será posible realizar la actividad constructiva descrita también en el cronograma. En concordancia con estos conceptos es que se presenta la Figura 25 con la ruta crítica de esta implementación remarcada en los cuadros de borde rojo, en ella se muestra que las actividades de realización de estudios previos junto con las de elaboración de diseño y selección de la contratista de materiales son críticas para poder cumplir con la planificación del proyecto. Adicionalmente también se tiene a la actividad de supervisión como otra actividad crítica a tener en cuenta durante el tiempo que dure esta implementación.

Para garantizar que no se presenten incidencias que impacten de manera negativa en la ruta crítica de este cronograma, se considera como elemento clave el vínculo con la comunidad y el relacionamiento con las entidades encargadas de la seguridad hídrica de Lima.

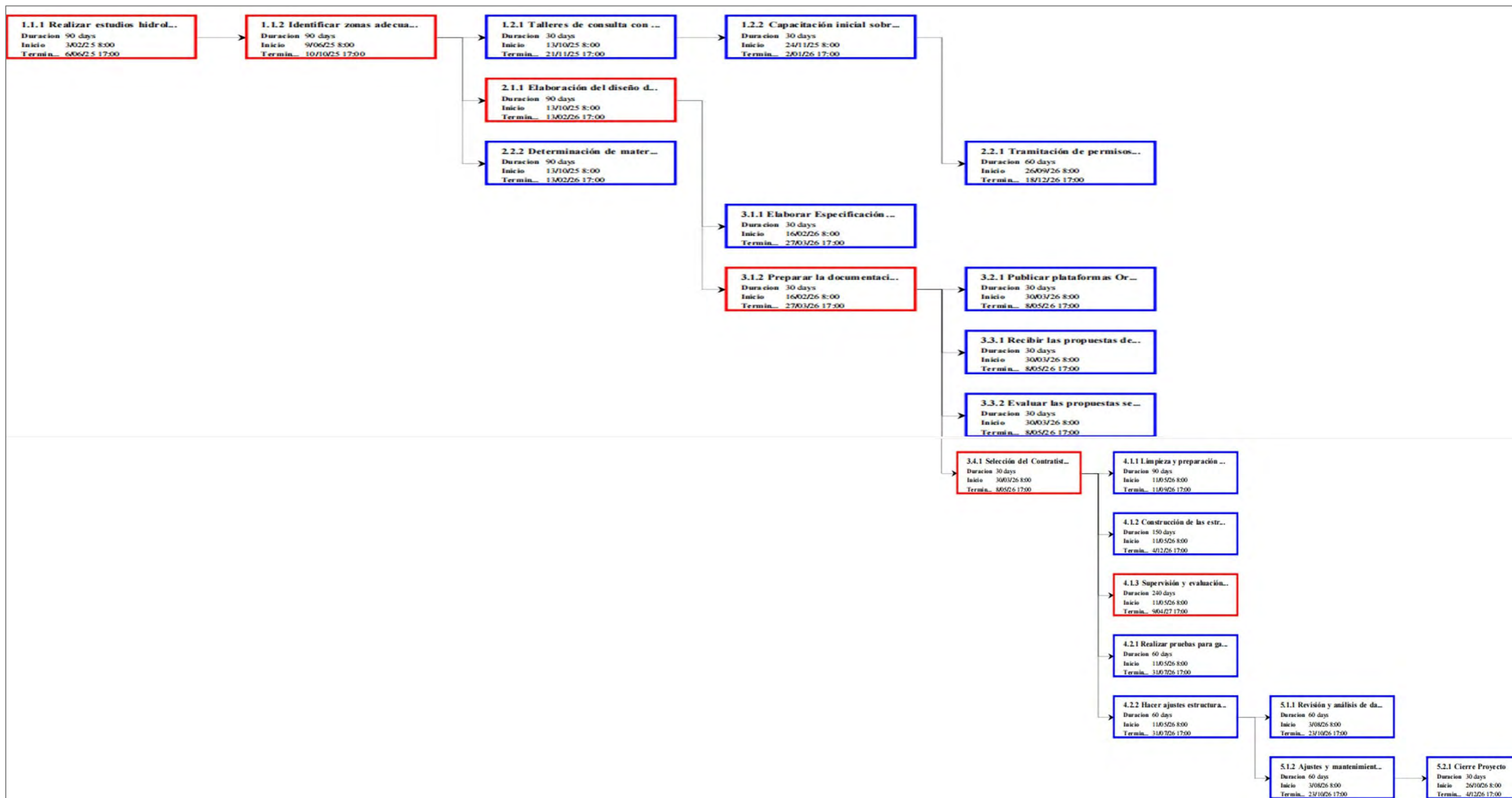
Tabla 12

Cronograma para la Implementación de 20 km de Amunas

Hitos/Actividades	Resultado Esperado	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12	Mes 13	Mes 14	Mes 15	Mes 16	Mes 17	Mes 18	Recursos Requeridos	
Fase 1: Planificación y Diagnóstico																					
1.1 Diagnóstico Inicial y Selección de Ubicación																					
1.1.1 Realizar estudios hidrológicos, geológicos y socioambientales.	Informe de diagnóstico y mapa de áreas potenciales para la implementación.	X	X	X																- Equipo técnico Ingeniería Orygen Perú (hidrólogos, ingenieros civiles, geólogos) y herramientas de cartografía y georreferenciación.	
1.1.2 Identificar zonas adecuadas para la implementación de amunas en colaboración con comunidades locales y expertos en ingeniería hídrica		X	X	X																	
1.2 Consulta y Participación Comunitaria																					
1.2.1 Talleres de consulta con comunidades para presentar el proyecto y establecer acuerdos de colaboración.	Aprobación de la comunidad para el proyecto				X	X														-Mediadores, equipo de Comunicaciones y Sostenibilidad Orygen Perú, y materiales para talleres. Material educativo.	
1.2.2 Capacitación inicial sobre la técnica de amunas y su impacto positivo en la recarga hídrica.							X														
Fase 2: Expediente Técnico (ET) y Estudio Definitivo (ED)																					
2.1 Diseño Técnico Detallado																					
2.1.1 Elaboración del diseño detallado de las amunas, considerando el flujo de agua, pendiente y capacidad de absorción del suelo.	Expediente técnico y Estudio Definitivo aprobado para la construcción de amunas				X	X	X													- Equipo técnico Ingeniería Orygen Perú (hidrólogos, ingenieros civiles, geólogos), especialistas en técnicas de construcción de Amunas y herramientas ofimáticas así como software especializados de diseño hidrológico.	
2.2.2 Determinación de materiales y técnicas tradicionales para maximizar la efectividad de recarga.					X	X	X														
2.2 Obtención de Permisos y Licencias																					
2.2.1 Tramitación de permisos con autoridades locales y entidades como la Autoridad Nacional del Agua (ANA).	Permiso y licencias de construcción de obra						X	X												- Equipo legal y regulatorio de Orygen Perú	
Fase 3: Proceso de convocatoria de obra																					
3.1 Preparación de Especificación Técnica y Documentación de la Convocatoria																					
3.1.1 Elaborar Especificación Técnica, detallando el alcance de la obra, requisitos técnicos y de experiencia, condiciones de ejecución y plazos.	Especificación Técnica (ET) aprobado y completo, junto con la documentación de convocatoria lista para ser publicada.						X													- Personal técnico y legal especializado en proyectos de infraestructura de Orygen Perú - Equipo de Procurement de Orygen Perú. - Herramientas de ofimática para la redacción y revisión de documentos.	
3.1.2 Preparar la documentación de la convocatoria, incluyendo criterios de evaluación, proceso de selección y términos contractuales.								X													
3.2 Lanzamiento convocatoria																					
3.2.1 Publicar plataformas Orygen y/o invitar a contratistas calificados.	Convocatoria publicada en el portal de Proveedores							X												- Portal de Contratación Orygen Perú - Equipo Procurement Orygen Perú	
3.3 Recepción y Evaluación de Propuestas																					
3.3.1 Recibir las propuestas de los contratistas interesados dentro del plazo estipulado.	Propuestas calificadas y preselección de proveedores							X												- Herramientas de evaluación de proyectos y calificación de proveedores	
3.3.2 Evaluar las propuestas según los criterios establecidos (calidad técnica, experiencia en proyectos similares, sostenibilidad de los métodos propuestos, costo y plazos).									X												
3.4 Selección del Contratista y Negociación del Contrato																					
3.4.1 Selección del Contratista y Negociación del Contrato	Contrato firmado entre Orygen y proveedor seleccionado							X												- Asesoría legal Orygen para la elaboración y revisión del contrato así como herramientas ofimáticas.	
Fase 4: Ejecución Obra																					
4.1 Preparación de Terreno y Construcción de Estructuras																					
4.1.1 Limpieza y preparación del terreno en las zonas seleccionadas.	Amunas construidas							X	X	X	X	X	X	X	X					- Ingenieros Orygen Perú, mano de obra calificada, materiales de construcción y maquinaria.	
4.1.2 Construcción de las estructuras de amunas utilizando materiales tradicionales: piedra y tierra compactada												X	X	X	X	X					
4.1.3 Supervisión y evaluación constante de la construcción para asegurar la calidad.									X	X	X	X	X	X	X	X					
4.2 Pruebas de Funcionamiento y Ajustes																					
4.2.1 Realizar pruebas para garantizar el flujo y almacenamiento de agua.	Certificación y aprobación de amunas operativas con flujo adecuado de recurso hídrico															X	X			- Ingenieros Orygen Perú, equipo monitoreo de nivel y calidad del suelo, softwares especializados.	
4.2.2 Hacer ajustes estructurales necesarios basados en observaciones de la capacidad de recarga.																X	X				
Fase 5: Monitoreo y Liquidación de Obra																					
5.1 Monitoreo Continuo																					
5.1.1 Revisión y análisis de datos de monitoreo para evaluar la efectividad de las amunas.	Informe resultados de recarga hídrica de amunas																	X	X	- Personal técnico Orygen Perú, softwares especializados para el monitoreo y análisis de datos	
5.1.2 Ajustes y mantenimiento continuo en colaboración con la comunidad.																		X	X		
5.2 Liquidación Obra																					
5.2.1 Cierre Proyecto	Acta Cierre del Proyecto																		X	- Jefe Proyecto Orygen Perú, contratista y comunidades	

Figura 25

Ruta Crítica del Cronograma para la Implementación de 20 km de Amunas



7.2. Presupuesto

El presupuesto detalla la inversión requerida para cada fase del cronograma del proyecto de construcción de amunas. Para la elaboración del mismo, se tomó los costos referenciales de construcciones de amunas descritos en los expedientes técnicos N° 2523500, N° 2618687 y N° 2520031 del portal de *Invierte.pe* de la división 054 Desarrollo Estratégico, Conservación y Aprovechamiento Sostenible del Patrimonio Natural del Ministerio de Economía y Finanzas (MEF, 2021).

Teniendo en cuenta lo especificado anteriormente, la propuesta para la construcción de 20 km de amunas, asciende a una inversión de S/ 3,279,000.00. En la Tabla 13, se detalla el resumen de inversión por cada fase del proyecto. Desde la Tabla 14 hasta la Tabla 18, se especifican los costos de inversión estimados que contienen cada fase. Asimismo, se considera un Gestor de Supervisión del Proyecto (PMO) para todo el ciclo de vida del proyecto.

Tabla 13

Resumen de Costos Inversión (S/)

Descripción	Inversión (S/)
Fase 1: Planificación y Diagnóstico	309,000.00
Fase 2: Expediente Técnico (ET) y Estudio Definitivo (ED)	274,000.00
Fase 3: Proceso de convocatoria de obra	28,000.00
Fase 4: Ejecución Obra	2,244,000.00
Fase 5: Monitoreo y Liquidación de Obra	424,000.00
Total costo	3,279,000.00

Tabla 14*Costos de Fase 1: Planificación y Diagnóstico (S/)*

Descripción	Cantidad	Monto Mensual (S/)	Tiempo	Total (S/)
Costo Equipo Técnico	4.0	12,000.00	3 meses	144,000.00
Costo estudios hidrológicos, geológicos y socioambientales.	1.0	42,000.00	3 meses	126,000.00
Gestión Proyecto - Supervisión (PMO)	1.0	8,000.00	3 meses	24,000.00
Costo talleres, capacitaciones comunitarias y materiales educativos	1.0	15,000.00	1 mes	15,000.00
Total costo				309,000.00

Tabla 15*Costos de Fase 2: Expediente Técnico (ET) y Estudio Definitivo (ED) (S/)*

Descripción	Cantidad	Monto Mensual (S/)	Tiempo	Total (S/)
Costo equipo técnico	3.00	10,000.00	4 meses	120,000.00
Costo expediente técnico y estudio detallado	1.00	15,000.00	4 meses	60,000.00
Costo licencias y permisos	3.00	10,000.00	2 meses	60,000.00
Software especializados	3.00	1,500.00	4 meses	18,000.00
Gestión Proyecto - Supervisión (PMO)	1.00	8,000.00	2 meses	16,000.00
Total costo				274,000.00

Tabla 16*Costos de Fase 3: Proceso de Convocatoria de Obra (S/)*

Descripción	Cantidad	Monto Mensual (S/)	Tiempo	Total (S/)
Costo equipo compras	2.00	10,000.00	1 mes	20,000.00
Software especializados	1.00	8,000.00	1 mes	8,000.00
Total costo				28,000.00

Tabla 17*Costos de Fase 4: Ejecución Obra (S/)*

Descripción	Cantidad	Monto Mensual (S/)	Tiempo	Total (S/)
Costo materiales y equipamiento para construcción 20 km	1.00	150,000.00	8 meses	1,200,000.00
Costos mano de obra local	15.00	3,500.00	8 meses	420,000.00
Costo mano de obra especializado	3.00	12,000.00	8 meses	288,000.00
Costos ajustes/remediación post prueba	1.00	80,000.00	2 meses	160,000.00
Costo equipos pruebas	2.00	12,000.00	4 meses	96,000.00
Gestión Proyecto - Supervisión (PMO)	1.00	8,000.00	10 meses	80,000.00
Total costo				2,244,000.00

Tabla 18*Costos de Fase 5: Monitoreo y Liquidación de Obra (S/)*

Descripción	Cantidad	Monto Mensual (S/)	Tiempo	Total (S/)
Liquidación Servicio	1.00	-	-	200,000.00
Costo de equipos de monitoreo de recarga y calidad del agua	1.00	-	-	172,000.00
Capacitación comunitaria para monitoreo	1.00	10,000.00	2 meses	20,000.00
Costo personal de supervisión para análisis de datos	1.00	8,000.00	2 meses	16,000.00
Gestión Proyecto - Supervisión (PMO)	1.00	8,000.00	2 meses	16,000.00
Total costo				424,000.00

Por otro lado, se consideró los costos de operación y mantenimiento post implementación de las amunas, en la Tabla 19, se detallan los costos anuales.

Tabla 19*Resumen de Costos Mantenimiento Post Implementación (S/)*

Descripción	Km	Monto Anual (S/)	Total (S/)
Costo Operación	20.00	5,000.00	100,000.00
Costo Mantenimiento	20.00	5,000.00	100,000.00
Total costo			200,000.00

7.3. Factores Clave para el Éxito

Los factores claves para el éxito son elementos críticos para el aseguramiento de la ejecución efectiva y cumplimiento de los objetivos del proyecto. En línea con ello, se han identificado los siguientes factores claves para garantizar el éxito del proyecto.

- **Liderazgo Comprometido.** Es importante para la implementación del proyecto contar con un patrocinador de la alta dirección de Orygen Perú quien debe estar presente durante todas las fases del proyecto. Este líder debe estar enfocado en motivar al equipo de trabajo, así como ser un facilitador en la comunicación con los diferentes stakeholders del proyecto.
- **Equipo de Trabajo Especializado.** Garantizar que el equipo responsable del proyecto, este conformado por un equipo de especialistas con conocimientos y habilidades calificadas para las actividades del proyecto. A través de un equipo especializado de excelencia podría ejecutarse las tareas con menor tiempo y eficiente.
- **Gestión de Recursos y Presupuesto.** La asignación de los recursos necesarios, su disponibilidad y el uso eficiente, disminuirá mermas y desperdicios en los materiales, optimizando el uso de recursos en el proyecto. Asimismo, el seguimiento presupuestal asegurará control de costos, evitando sobrecostos o financiamiento adicional al proyecto.

- **Gestión de Riesgos.** La gestión de riesgos es sumamente importante para garantizar el cumplimiento del alcance y objetivo del proyecto permitiendo anticipar y mitigar problemas que puedan impactar las actividades del proyecto. A través de una gestión eficiente de riesgos, también, permitirán priorizar y asignar recursos de una forma óptima, enfocándose solo en aquellos riesgos que podrían tener mayor impacto en el desarrollo del proyecto. Asimismo, reducirá la posibilidad de imprevistos, garantizando el cumplimiento de tiempos y presupuesto del proyecto.
- **Alianzas con Organizaciones Vinculadas a la Seguridad Hídrica de Lima.** El uso de amunas como mecanismo para la siembra y cosecha del agua vienen siendo utilizados en las diversas cuencas cercanas a Lima, pero sobre todo por el impulso que les da esta Unidad Ejecutora del Fondo Sierra Azul (Saenz, 2019), debido a que constituyen una alternativa muy eficiente para poder potenciar las actividades agrícolas. Es por ello, que parte del proyecto de implementación, se preste atención a las alianzas con organismos gubernamentales y privados que cuenten con experiencia en la ejecución de estos proyectos debido a que serán el soporte necesario para poder vincular los beneficios del proyecto en toda la comunidad alrededor de las centrales hidroeléctricas de Orygen Perú y consumidores finales.
- **Buen Relacionamento con la Comunidad.** El uso de las amunas data de épocas ancestrales, las mismas que se remontan a las civilizaciones incaicas (Aquafondo, 2024), y forma parte de prácticas actuales en las zonas de la sierra y costa del Perú. En concordancia con ello, es necesario garantizar un buen relacionamiento con la comunidad de manera que su participación pueda ser constante, tanto para el desarrollo de la actividad constructiva como para la formación de los técnicos y responsables de la organización que gestionarán los recursos para llevar a cabo esta implementación. La Figura 26 muestra un ejemplo de la participación de la

comunidad de San Pedro de Casta en un proyecto de reforzamiento y mejora de amunas, esta comunidad se involucró de manera directa en las actividades constructivas de mejora en los canales, recibiendo además de su salario y beneficios.

Figura 26

Participación de Comuneros en Reforzamiento de Amunas



Nota. Imagen tomada de Cárdenas Panduro (2020)

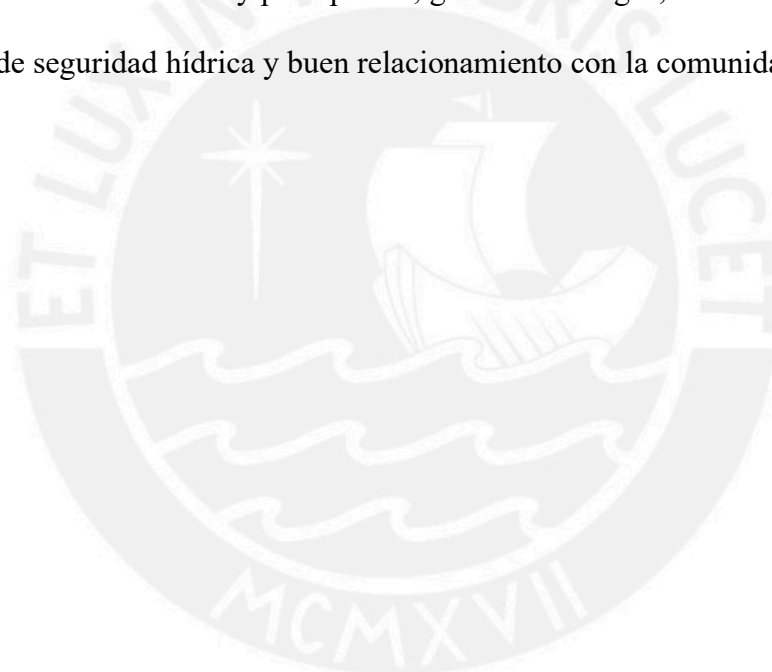
7.4. Resumen del Capítulo

En este capítulo se detalló la planificación de actividades y el presupuesto necesario para la implementación de 20 km de amunas, junto con los factores clave de éxito para asegurar la efectividad del proyecto.

El plan de implementación consta de cinco (05) fases: Planificación y diagnóstico (3 meses) para estudios preliminares, elaboración del expediente técnico y gestión de permisos (4 meses), proceso de licitación (2 meses), ejecución de obra (8 meses) para la construcción de las amunas, monitoreo y cierre (2 meses) para finalizar el proyecto basando en referencias de proyectos de la misma naturaleza extraídos del portal Invierte.pe y la Autoridad Nacional del Agua.

Por otro lado, se detalló el presupuesto del proyecto, el cual consta de una inversión estimada en S/ 3,279,000.00, con costos estructurados por fases: Planificación y diagnóstico (S/ 309,000.00), expediente técnico (S/ 274,000.00), licitación (S/ 28,000.00), ejecución de obra (S/ 2,244,000.00), monitoreo y cierre (S/ 424,000.00). Además, se incluyen costos anuales de operación y mantenimiento post-implementación de S/ 200,000.00.

Finalmente, se listaron los factores claves de éxito, para garantizar una implementación efectiva y sostenible del proyecto, alineando los intereses de stakeholders, Orygen y la comunidad. Entre ellos se listaron: liderazgo comprometido, equipo de trabajo especializado, gestión de recursos y presupuesto, gestión de riesgos, alianzas con organizaciones de seguridad hídrica y buen relacionamiento con la comunidad.



Capítulo VIII: Resultados Esperados

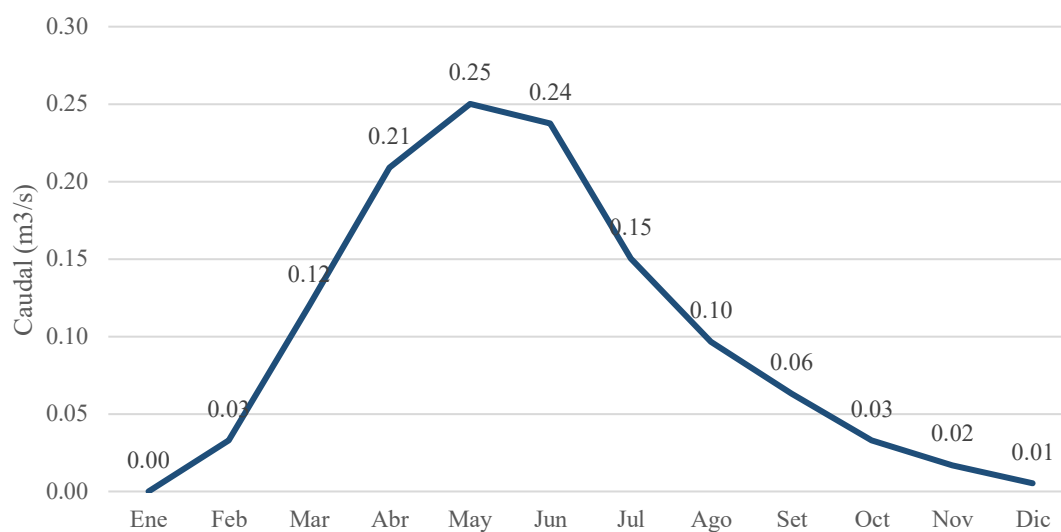
En el Capítulo VIII, se aborda la propuesta de rehabilitación de 20 km de amunas en la cuenca del río Rímac, específicamente aguas arriba de la toma Tamboraque, con el objetivo de incrementar el caudal disponible para la generación de energía en las centrales hidroeléctricas de Matucana y Callahuanca. La rehabilitación de las amunas permite una mayor infiltración de agua durante la temporada de lluvias, la cual resurge en meses de estiaje, proporcionando un caudal adicional para la producción eléctrica. A partir de estos flujos adicionales, se estiman los beneficios económicos, sociales y ambientales del proyecto, detallando las métricas de rentabilidad y el impacto en la sostenibilidad de la región.

8.1. Resultados Esperados

La rehabilitación de 20 km de amunas aguas arriba de la toma Tamboraque permitirá la infiltración de parte del recurso hídrico durante el periodo de lluvias, favoreciendo su posterior resurgimiento a través de manantiales que aportan pequeños incrementos de caudal al río Rímac, por lo cual, se espera un incremento de caudal disponible para producción de energía eléctrica, el cual se muestra en la Figura 27 así como el detalle del cálculo en el Apéndice C.

Figura 27

Curva del Caudal Recuperado Posterior a la Infiltración en las Amunas



Con esta información de entrada, se calcula la cantidad de energía adicional que podrían producir la Central Hidroeléctrica Matucana y la Central Hidroeléctrica Callahuanca. Esta información se presenta en la Tabla 20.

Tabla 20

Energía Adicional Generada por la Central Hidroeléctrica Matucana y Callahuanca

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Anual
CH Matucana (MWh)					1,610	1,479	968	621	395	211	106	33	5,423
CH Callahuanca (MWh)					636	584	382	245	156	83	42	13	2,142
Total (MWh)					2,246	2,063	1,350	866	551	294	148	46	7,565

Los valores de energía adicional generada para ambas centrales hidroeléctricas serán considerados como información de entrada para el flujo de caja libre que le corresponde a este proyecto de mejora y reforzamiento de 20 km de amunas.

Datos iniciales: A efectos de poder elaborar el flujo de caja libre de la propuesta de rehabilitación de 20 km de amunas, se presenta en la Tabla 21, el resumen de los datos iniciales de venta de energía, así como los costos de mantenimiento y el tiempo de vida útil de esta iniciativa.

Tabla 21*Datos de Entrada para Cálculo de Flujo de Caja Libre*

Descripción	Valor
Producción anual adicional	7.565 MWh
Tiempo de vida útil	20 años
Longitud de amunas	20 km
Inversión	S/ 3,279,000.00
Costo de operación y mantenimiento por año	S/ 200,000.00
Costo de venta de energía en el MME	115 (S/MWh)
WACC (<i>ver Apéndice D</i>)	7.89%
Impuestos	29.5%
Mecanismo de financiamiento	OXI

La Tabla 22 muestra el flujo de caja libre utilizado para calcular los indicadores financieros clave para evaluar este proyecto. Aquí se detalla el valor presente del proyecto proyectado a 20 años, tomando en cuenta las ganancias y los gastos previstos durante ese tiempo.

El monto de ingresos esperado asciende a S/ 869,939.00 anuales. Este monto representa el incremento en las ganancias que se obtendría debido a que se cuenta con una mayor cantidad de caudal entre los meses de mayo y diciembre para generar energía.

Posterior a los cálculos realizados se obtienen los indicadores de rentabilidad que se presentan en la Tabla 23.

Tabla 23

Indicadores de Rentabilidad del Proyecto de Rehabilitación de 20 km de Amunas

Valor Actual Neto (S/)	4,307,479.00
Tasa Interna de Retorno	33,1%
Índice de Rentabilidad	2,97
Periodo de recuperación (años)	2

Nota. Datos obtenidos del cálculo de flujo de caja libre- Anexo 1

El valor del Valor Actual Neto obtenido muestra un valor positivo, mayor a S/ 4,307,479.00, asimismo, una Tasa Interna de Retorno de 33,1% en el periodo de operación del proyecto, el cual es superior al WACC. Adicionalmente el Índice de Rentabilidad es 2,97 en decir, mayor a 1. Esto cumple con las tres condiciones financieras necesarias para considerar viable el proyecto en términos de rentabilidad. El EBITDA proyectado representa el 0.7% del EBITDA alcanzado por Orygen Perú el 2023. Además, gracias al planteamiento de utilizar el mecanismo de financiamiento de Obras por Impuestos (OXI), permite que Orygen Perú recupere el monto de inversión a través de un beneficio tributario que se hace efectivo luego de culminado la implementación del proyecto, por lo cual el periodo de recuperación estimado es de 2 años.

8.2. Resultados Esperados en el Frente Social Vinculado

La rentabilidad social mide los beneficios que un proyecto aporta a la comunidad, considerando no solo su factibilidad económica, sino también el impacto positivo en la sociedad y el medioambiente (Villasmil Molero et al., 2020). El proyecto de rehabilitación de 20 km de amunas va más allá de ser una solución técnica para la gestión hídrica en las centrales hidroeléctricas de Orygen Perú. Este proyecto busca también fortalecer el bienestar

de las comunidades locales al mejorar la disponibilidad de agua, preservar técnicas ancestrales sostenibles y contribuir a mitigar los efectos del cambio climático.

Para evaluar su impacto social, se analizaron tanto los beneficios que aporta, como la generación de empleo, así como los costos asociados al impacto ambiental que podría generarse durante su desarrollo y operación. En la Tabla 24, se presenta el beneficio social derivado la reducción de emisiones de CO₂, logrado al sustituir producción de energía de centrales térmicas por centrales hidroeléctricas. Para ello, se consideró que el factor de emisión de una central hidroeléctrica tiene un valor de 0 Tn/MWh, mientras que el de una central térmica de ciclo combinado a gas natural es de 0.37 Tn/MWh, de acuerdo con (Red Eléctrica de España, 2020). Además, esta disminución de emisiones de CO₂ fue valorizada considerando el precio social del carbono (Ministerio de Economía y Finanzas, 2024).

Asimismo, en la Tabla 25, se presenta otro beneficio social referente al acceso de agua potable. Se consideró el costo por metro cúbico generado según proyecto que mejore la cantidad del recurso hídrico (USD/m³). Según (Forest Trends), el ratio del costo de inversión para proyectos de amunas es 0.004 USD/m³, mientras que para otros proyectos tradicionales en la misma cuenca esta ratio es superior a 0.152, en ese sentido, la obtención de agua a través de amunas es un ahorro para el País en inversión para la obtención de agua para la población. En la Tabla 26, se presenta el beneficio referente a la creación de empleo, donde se considera 8 nuevos puestos de trabajo que se crearan para brindar soporte y mantenimiento a las amunas. Por otro lado, en la Tabla 27 se presenta un beneficio adicional relacionados al sector agricultura, donde se consideran 200 hectáreas rehabilitadas como consecuencia de mayor disponibilidad de agua considerando que por cada km de implementación de amunas se obtiene 20 hectáreas de área de cultivo (Ministerio de Economía y Finanzas, 2024).

Finalmente, en la

Tabla 28 se presenta el cálculo de los beneficios sociales totales utilizando una tasa de descuento del 8% en soles, conforme a lo establecido en el Anexo N° 11 "Parámetros de Evaluación Social" de la Directiva N. ° 001-2019-EF/63.01.



Tabla 28*Flujo Económico de los Beneficios Sociales Totales 2026-2047*

Años de Operación	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047
Valorización de las Emisiones de CO2 (S/.)			318,239	318,239	318,239	318,239	318,239	318,239	318,239	318,239	318,239	318,239	318,239	318,239	318,239	318,239	318,239	318,239	318,239	318,239	318,239	318,239
Beneficio del acceso a agua Potable (S/.)			879,394	879,394	879,394	879,394	879,394	879,394	879,394	879,394	879,394	879,394	879,394	879,394	879,394	879,394	879,394	879,394	879,394	879,394	879,394	879,394
Beneficio anual en creación de empleo (S/.)			100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000
Beneficio anual en el sector agricultura (S/.)			366,667	366,667	366,667	366,667	366,667	366,667	366,667	366,667	366,667	366,667	366,667	366,667	366,667	366,667	366,667	366,667	366,667	366,667	366,667	366,667
Beneficio anual total (S/.)	0	0	1,664,300	1,664,300	1,664,300	1,664,300	1,664,300	1,664,300	1,664,300	1,664,300	1,664,300	1,664,300	1,664,300	1,664,300	1,664,300	1,664,300	1,664,300	1,664,300	1,664,300	1,664,300	1,664,300	

Tasa de descuento social 8%

VAN Social S/ 15,129,945

VAN Social S/ 15,129,945

8.2.1. Valor Social Vinculado a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

La Organización de las Naciones Unidas ha establecido una agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, la misma que contempla 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), los cuales buscan ir más allá de poner fin a la pobreza, ya que representan la singularidad de instar a todos los países a adoptar medidas para promover la prosperidad al mismo tiempo que protegen al planeta. En concordancia con esta misión planteada por la ONU a todos los países, Orygen Perú establece un compromiso con los ODS implementando dentro de su estrategia de negocio programas de sostenibilidad que contribuyan con el bienestar y protección medio ambiental de todas las regiones en donde tiene presencia. De forma específica, el proyecto de materia de análisis en esta tesis: Siembra y cosecha del agua para mitigar la escasez del recurso hídrico, contribuye de manera significativa con los siguientes ODS.

- **ODS 1 - Fin de la Pobreza.** La propuesta descrita en esta tesis constituye una contribución positiva para este ODS puesto que representa una oportunidad para crear empleos sostenibles en las comunidades vinculadas con la construcción y mantenimiento de los 20 km de amunas, y adicionalmente se creará una oportunidad para que puedan tener un mayor acceso a servicios básico, toda vez que contarán con una fuente adicional de ingresos y con una mayor disponibilidad de recurso hídrico.
- **ODS 6 -Agua Limpia y Saneamiento.** Con la construcción y el mantenimiento de las amunas se promueve la creación de un mecanismo de reserva natural de agua, la misma que se utilizará durante las épocas de estiaje; de esta manera se logra un aporte en la comunidad con una solución que contribuye a reducir la escasez de recursos hídricos e influir de manera positiva en la seguridad alimentaria, toda vez que el recurso hídrico adicional podrá ser utilizado también en la actividad agrícola.

- **ODS 7 - Energía Asequible y no Contaminante.** La energía es la principal fuerza que mueve las actividades económicas que se desarrollan en el mundo, el acceso a la energía de manera universal y sostenible es uno de los principales objetivos que persigue la agenda de la ONU al 2030. La propuesta siembra y cosecha del agua nos permite vincular de manera equilibrada la generación de energía en las centrales hidráulicas con la oportunidad de mejorar las condiciones de vida de las comunidades que también son usuarias del recurso hídrico. De esta manera se logra un desarrollo en armonía con todos los actores que requieren de manera esencial el contar con energía.
- **ODS 11 - Ciudades y Comunidades Sostenibles.** El aporte que genera la propuesta de siembra y cosecha del agua en las comunidades que participan de la construcción y mantenimiento de los 20 km de amunas, les permitirá incrementar sus ingresos económicos y con ello mejorar su calidad de vida, adicionalmente se logrará un mejor aprovechamiento de sus recursos, dado que el agua que se logre cosechar podrá ser empleada también en actividades agrícolas de una manera racional y equilibrada. En este contexto la implementación de las amunas constituye una herramienta que permite hacerle frente a la lucha contra la pobreza.

De acuerdo con la información que tiene disponible el Fondo Sierra Azul del Ministerio de Agricultura y Riego, se concluye que por cada kilómetro de amuna construido se pueden recuperar entre 10 a 15 hectáreas de cultivo, las mismas que pueden utilizarse por los pobladores de una determinada comunidad para sembrar y cosechar otro tipo de cultivos. La experiencia de los proyectos ejecutados por el Fondo Sierra Azul presenta que algunos de los cultivos con los que se ha logrado resultados exitosos son:

- La papa y el maíz, con ingresos que van de 2,000 a 4,00 soles por hectárea
- La quinua, con ingresos que van de los 1,500 a 3,00 soles por hectárea

En concordancia con estas cifras, la implementación de 20 km de amunas logrará una recuperación de no menos de 200 hectáreas de tierra de cultivo, las mismas que serán aprovechadas por los cultivos alternativos y generarán con ello mayores ingresos para la comunidad.

8.3. Resumen del Capítulo

En el Capítulo VIII se presentaron los resultados esperados del proyecto de rehabilitación de 20 km de amunas en la cuenca del río Rímac, evaluando tanto los aspectos financieros como los beneficios sociales. El análisis financiero contempló el cálculo del flujo de caja libre, basado en los ingresos adicionales generados por el incremento en la capacidad de generación eléctrica de las centrales hidroeléctricas Matucana y Callahuanca. Los indicadores de rentabilidad obtenidos, como el Valor Actual Neto (VAN) de S/ 4,307,479.00 y una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 33,1%, superaron el costo de capital, confirmando la viabilidad económica de la inversión. Además, se utilizó el mecanismo de Obras por Impuestos (OXI), lo cual permitirá a Orygen Perú recuperar la inversión mediante beneficios tributarios, estimando un periodo de recuperación de 2 años.

En cuanto a los beneficios sociales, se calculó que el Valor Actual Neto Social (VANS) es de S/ 15,129,945.00, lo que implica que el VAN del proyecto es el 26.36% del valor para la sociedad. Además, Orygen Perú destacó que esta iniciativa contribuye a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), promoviendo la sostenibilidad hídrica y el bienestar social en las comunidades de su área de influencia.

Capítulo IX: Conclusiones y Recomendaciones

Como resultado de la consultoría hemos llegado a las siguientes conclusiones:

- La escasez del recurso hídrico durante el estiaje es un desafío recurrente en las cuencas de los ríos Rímac y Santa Eulalia, provocando que los caudales naturales en las tomas de Sheque y Tamboraque en periodo de estiaje disminuyan 71% y 58%, respectivamente, en comparación con el periodo de avenida. Esta situación impacta significativamente la capacidad de generación de Orygen Perú, debido a que la menor disponibilidad de agua reduce la producción de las centrales hidroeléctricas Huinco, Matucana, Callahuanca y Moyopampa aproximada de 22%, 31%, 9% y 3%, respectivamente.
- Los factores ambientales son la principal causa de esta escasez del recurso hídrico para generación de energía eléctrica en la cuenca de los ríos Rímac y Santa Eulalia, destacando los cambios naturales en los patrones climáticos y la ocurrencia de fenómenos meteorológicos extremos. Por otro lado, los factores sociales, como la competencia por el uso del agua entre diferentes sectores, y los factores de gestión, como la falta de coordinación efectiva entre las instancias públicas, privadas y comunales, también contribuyen a la disminución del recurso hídrico disponible para la generación de energía eléctrica en este periodo.
- La rehabilitación de amunas es la opción más conveniente para Orygen Perú, dado su alta viabilidad técnica, bajo costo, su menor impacto ambiental y su alineación con las prácticas sostenibles de gestión hídrica.
- Las zonas de la cuenca del Rímac cuentan con potencial para la rehabilitación y reutilización de amunas. Este proyecto de recuperación de 20 km de amunas es económicamente viable, con un VAN positivo de S/ 4,307,479.00, una TIR del 33.1% (superior al WACC), y un IR de 2.97. Además, tiene el potencial de aumentar la

producción de energía eléctrica renovable de Orygen Perú y de otras centrales hidroeléctricas cercanas, contribuyendo de manera directa a la seguridad hídrica de Lima y Callao al incrementar la disponibilidad de agua para SEDAPAL en los meses secos.

- Los análisis financieros y de costo-efectividad reflejan que la rehabilitación de amunas es una inversión socialmente rentable, con un Valor Actual Neto Social (VANS) que demuestra su viabilidad desde una perspectiva de beneficios comunitarios. La inversión proyectada, al complementar el flujo hídrico en épocas secas, no solo eleva la capacidad de generación eléctrica, sino que responde a necesidades económicas, ambientales y sociales, promoviendo el desarrollo económico de las comunidades aledañas y fomentando una mayor resiliencia ante el cambio climático.
- La implementación de amunas es una solución económica que puede ser financiada mediante el mecanismo de Obras por Impuestos, a través del cual Orygen adelantaría parte de sus tributos para este proyecto específico. Esto ofrece varios beneficios: permite a la empresa conocer el destino de sus aportes tributarios, mejora la relación con las comunidades beneficiadas y, al mismo tiempo, genera un impacto positivo en la producción hidroeléctrica y otros beneficios.
- El proyecto de amunas también genera importantes beneficios sociales y ambientales, principalmente en la zona de influencia de las centrales hidroeléctricas de Orygen Perú. Este proyecto crea empleo durante la etapa de construcción, involucrando a 15 personas locales, y asegura la generación de 8 empleos permanentes para las actividades de operación y mantenimiento a lo largo de su vida útil. Además, promueve la capacitación en técnicas ancestrales de manejo hídrico y fortaleciendo el ecosistema de la cuenca, mejorando su sostenibilidad a largo plazo. Este esfuerzo

impacta en los Objetivos de Desarrollo Sostenible, específicamente en los ODS N°1 (Fin de la Pobreza), N°6 (Agua Limpia y Saneamiento), N°7 (Energía Asequible y No Contaminante) y N°11 (Ciudades y Comunidades Sostenibles), al mejorar la calidad de vida y la seguridad hídrica en la región.

- Las amunas representan una solución escalable; si se implementaran más kilómetros de amunas en la zona estudiada, los beneficios se ampliarían. Asimismo, esta solución podría replicarse en otras cuencas del país, ya que generalmente comparten un ciclo de periodos de avenida y estiaje muy similar.
- En conclusión, la rehabilitación de amunas representa una oportunidad de beneficio compartido, al sumar los intereses de Orygen Perú, las comunidades locales, SEDAPAL y otras empresas generadoras de energía en la cuenca. Más allá del incremento en la producción energética, este proyecto contribuye al desarrollo de las comunidades y a la preservación de actividades y ecosistemas, generando un impacto positivo a nivel social y ambiental que se extiende a múltiples sectores de la sociedad.

Referencias

- OCDE. (2021). *Recursos hídricos en Perú: el estado actual*. Obtenido de <https://www.oecd-ilibrary.org/sites/467536b0-es/index.html?itemId=/content/component/467536b0-es#section-d1e2501>
- Abad Cueva, J. D., & Rau Lavado, P. (2018). *Diseño e implementación de dos sistemas de monitoreo hidrológico para la Amuna Saywapata en San Pedro de Casta y las zanjas de infiltración en Canchamoya en San Mateo*. Investigación.
- Adger, W., Brooks, N., Bentham, G., Agnew, M., & Eriksen, S. (Enero de 2004). *New Indicators of Vulnerability and Adaptive Capacity, Tyndall Centre for Climate Change Research. Technical Report 7*. Obtenido de <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=6ff42b2e526e40f7d1a82db8cfa8057b4ca7355c>
- Agro Peru Informa. (23 de Enero de 2024). Perú enfrenta un déficit de inversión en infraestructura hidráulica. Lima, Lima, Perú.
- Alcalá, C. (13 de Junio de 2024). Grupo Enel redujo deuda en 1,200 millones de euros tras venta de Enel Generación Perú. *Diario Gestión*.
- ANA. (2014). Plan Nacional de Recursos Hídricos Perú. 91. Obtenido de <https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/plannacionalrecursoshidricos2013.pdf>
- ANA. (2016). *Priorización de Cuencas para la Gestión de los Recursos Hídricos*. Lima: Biblioteca Nacional del Perú.
- ANA. (2020). *Autoridad Nacional del Agua*. Obtenido de <http://snirh.ana.gob.pe/snirh/ConsultarRegistros.aspx>.
- ANA. (2020). *Cuentas Ambientales y Económicas del Agua en el Perú*. Lima: Biblioteca Nacional del Perú.
- ANA. (13 de Setiembre de 2022). *Conoce los principales ríos de Lima y su importancia*. Obtenido de <https://aquafondo.org.pe/conoce-los-principales-rios-de-lima-y-su-importancia/>
- Andrew L. Hamilton, G. W. (2020). Managing Financial Risk Trade-Offs for Hydropower Generation Using Snowpack-Based Index Contracts. *Water resources research*.
- Antiporta, J. (2020). *Construcción, reparación y mejoramiento de Amunas: Cuantificación de mejoras potenciales en el caudal base*. Canada: Forest Tend.
- Apaza I., D., Arroyo H., R., & Alencastre C., A. (2006). *Las Amunas de Huarochirí. Recarga de acuíferos en los Andes*. Lima.
- Apaza, D. (2004). *Las amunas: Tecnología de ancestral de recarga artificial de acuíferos en los andes peruanos*. Lima: Ingemmet.
- Apoyo y Asociados . (23 de Septiembre de 2023). *SMV del Perú* . Obtenido de SMV del Gobierno del Perú :

<https://www.smv.gob.pe/ConsultasP8/temp/Informe%20Apoyo%20Sep23%20EGPERU.pdf>

- Aquafondo. (2015). *Recuperando la infraestructura y la técnica ancestral de las amunas en el Perú*. Lima: Aquafondo.
- Aquafondo. (2017). *Áreas potenciales para el desarrollo de proyectos de infraestructura verde en las cuencas del CHIRILU*. Lima: Aquafondo.
- Aquafondo. (2020). Huella Hídrica de los usuarios de Agua en Lima Metropolitana. *Fondo de Agua para Lima y Callao - AQUAFONDO*, 20-35.
- Aquafondo. (13 de Setiembre de 2022). *Conoce los principales ríos de Lima y su importancia*. Obtenido de <https://aquafondo.org.pe/conoce-los-principales-rios-de-lima-y-su-importancia/>
- Aquafondo. (2024). *Amunas*. Obtenido de <https://aquafondo.org.pe/amunas/>
- Aquafondo. (2024). *Portafolio de Intervenciones en la Subcuenca Santa Eulalia*. Lima.
- Aquafondo. (2024). *Soluciones basadas en la Naturaleza y prácticas de adaptación al cambio climático*. Obtenido de <https://aquafondo.org.pe/programas-y-proyectos/infraestructura-natural-y-comunidades-resilientes/?categoria=sembrando-agua&buscar=>
- Autoridad Nacional del Agua. (2016). *Priorización de las cuencas para la gestión de recursos hídricos*. Lima: Biblioteca Nacional del Perú.
- Autoridad Nacional del Agua. (2019). *Diagnostico inicial para el plan de gestión de las cuencas Chillón, Rímac, Lurin y Chilca*. Lima: ANA.
- Banco Mundial. (2013). *El futuro del riego en el Perú*. Washington: Banco Mundial.
- Banco Mundial. (2023). <https://www.bancomundial.org/es/topic/water/publication/peru-strategic-actions-toward-water-security>. Obtenido de <https://documents1.worldbank.org/curated/en/099062023100531967/pdf/P17363602652300490a20b067e3b55cf68d.pdf>
- Bonneville Power Administration. (s.f.). *Represas: Una sola estructura, muchos beneficios*. Obtenido de <https://www.bpa.gov/learn-and-participate/community-education/hydropower-101/dams/subcontent/dams-spanish>
- Boris F. Ochoa-Tocachi, J. D.-R. (2019). Potential contributions of pre-Inca infiltration infrastructure to Andean water security. *Nature Sustainability*, 584–593.
- Borowski, P. F. (2022). *Water and Hydropower—Challenges for the Economy and Enterprises in Times of Climate Change in Africa and Europe*. MDPI.
- Butron Fernandez, C., & Cerida Apolaya, A. (2020). *PROPUESTA DE UN MARCO REGULATORIO QUE INCENTIVE LAS INVERSIONES*. Lima: PUCP.
- Cárdenas Panduro, A. (2020). *Impacto de las amunas en la seguridad hídrica de Lima*. Lima: The Nature Conservancy.

- Carrasco, O., Guerrero, J., Linares, P., & Vidal, P. (2023). *Business Consulting para – CANOVAS S.A.C.* Lima: CENTRUM PUCP.
- Castro Salvador, S. (2020). Alianzas y conflictos en un territorio del agua: El caso de la subcuenca del Río Santa Eulalia. *Espacio y Desarrollo*, 121 - 148.
- CENEPRED. (2023). *ESCENARIO DE RIESGO POR DÉFICIT HÍDRICO PARA EL PERIODO DE LLUVIAS 2023 – 2024*. Lima: Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres.
- CEPLAN. (2023). *Perú: Alto riesgo de vulnerabilidad debido a la crisis del agua*. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/ceplan/noticias/690049-peru-alto-riesgo-de-vulnerabilidad-debido-a-crisis-del-agua>
- Chavarría Castillo, C. C. (2021). *Amunas, Práctica Ancestral De Siembra Y Cosecha De Agua Para La Seguridad Hídrica. Caso: San Pedro De Casta*. Lima: ISSN Centre for Peru.
- Chiara Colesanti Senni, S. G. (2024). Economic and financial consequences of water risks: The case of hydropower. *Elseiver*.
- Clima de cambios, PUCP. (24 de Octubre de 2014). *Perú es tercer país más vulnerable del mundo al cambio climático*. Obtenido de <https://www.pucp.edu.pe/climadecambios/noticias/peru-es-tercer-pais-mas-vulnerable-del-mundo-al-cambio-climatico/>
- COES. (2024). *COES*. Obtenido de <https://www.coes.org.pe/portal/>
- COES-SINAC. (2023). Glosario de abreviaturas y definiciones utilizadas en los procedimientos técnicos del COES.
- COES-SINAC. (2023). *Topología hídrica de las cuencas del sistema interconectado nacional*. Lima: COES-SINAC.
- COES-SINAC. (2024). *Estadísticas del COES-SINAC*. Obtenido de <https://www.coes.org.pe/Portal/Publicaciones/Estadisticas/>
- COES-SINAC. (2024). *Informes de Ensayos de Potencia Efectiva y Rendimiento*. Obtenido de <https://www.coes.org.pe/Portal/Operacion/Estudios/PotenciaEfectiva>
- COES-SINAC. (2024). *Informes semanales de la operación del SEIN*. Obtenido de <https://www.coes.org.pe/Portal/PostOperacion/Informes/EvaluacionSemanal>
- Congreso de la República del Perú. (2009). *Ley de Recursos Hídricos, Ley N.º 29338*. Lima: Diario Oficial El Peruano. Obtenido de <https://www.ana.gob.pe>
- Conservancy, T. N. (2016). *Expediente técnico mejoramiento de la acequia o amuna de recarga hídrica Saywapata - San Pedro de Casta*.
- Costos SAC. (15 de Julio de 2024). *Revista Costos. Suplemento Técnico de la Revista Costos*. Lima, Perú: Costos SAC.
- Defensoría del Pueblo. (2015). *Conflictos sociales y recursos hídricos*. Lima: Biblioteca Nacional del Perú.

- Defensoría del Pueblo. (2024). *Vigésimo Séptimo Informe Anual de la Defensoría del Pueblo. Enero — Diciembre 2023*. Lima: Biblioteca Nacional.
- Dourojeanni, A., & Jouravlev, A. (1999). *Gestión de cuencas y ríos vinculados con centros urbanos en América Latina y el Caribe*. Lima.
- Ecologistas en Acción. (01 de 03 de 2018). *Pantanos inútiles: Grandes embalses, grandes impactos*. Obtenido de <https://www.ecologistasenaccion.org/36017/pantanos-inutiles-grandes-embalses-grandes-impactos/>
- Enel Generación Perú. (2023). Memoria Anual de Enel Generación Perú. En E. G. Perú, *Memoria Anual de Enel Generación Perú* (págs. 87-90). Lima: Enel Generación Perú.
- Enel Generación Perú. (2023). *Memoria Anual Integrada 2023*. Lima.
- Energiminas. (13 de Diciembre de 2024). *Energiminas.com*. Obtenido de Energiminas.com: <https://energiminas.com/2024/12/13/optimizacion-de-uso-de-agua-hasta-ia-orygen-recibe-triple-reconocimiento-en-premios-desarrollo-sostenible-2024/>
- FAO, N. F. (2016). *The State of Food and Agriculture*.
- Fernandez, L. (2020). Infraestructura Verde. *Universidad Politécnica de Madrid*, 10-50.
- Flor Vicente, J. (2020). *TRATAMIENTO REGULADORIO DE GENERACIÓN ELÉCTRICA*. LIMA: PUCP.
- Forest Trends. (s.f.). *Evaluando intervenciones verdes para abastecer de agua a Lima, Perú*.
- Foro Económico Mundial. (2024). *Reporte de Riesgos Globales*. Ginebra.
- Fundación Aequae. (15 de 12 de 2021). *8 beneficios de la energía hidráulica*. Obtenido de <https://www.fundacionaqua.org/wiki/ventajas-energia-hidraulica/>
- Gelles, P. H. (2002). *Agua y poder en la sierra peruana : la historia y política cultural del riego, rito y desarrollo*. Lima.
- GIAAF. (2017). *Gestión integral del agua en la agricultura familiar*. Obtenido de Las “Amunas” para siembra y cosecha de agua. Huarochirí, Perú: <https://giaaf.pe.iica.int/gestion-del-conocimiento/inventario-de-tecnologias/tecnologia-tipo-1/las-amunas-siembra-cosecha-agua-Huarochiri.aspx>
- Gianleo Frisari, V. M. (2015). *Risk Mitigation Instruments for Renewable Energy in Developing Countries: A Case Study on Hydropower in Africa*. CPI.
- Global Water Partnership. (2008). *Aspectos económicos en la gestión sostenible del agua*. UNDP.
- Gobierno del Perú. (Enero de 2023). *Perú: alto riesgo de vulnerabilidad debido a crisis del agua*. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/ceplan/noticias/690049-peru-alto-riesgo-de-vulnerabilidad-debido-a-crisis-del-agua>
- HEIM. (2002). *Assessment of Meteorological Drought in Climate Variability Context within the Comoe River Transboundary Watershed*.

- Hispagua. (06 de 2017). *Impacto ambiental - Energía hidráulica*. Obtenido de https://hispagua.cedex.es/sites/default/files/especiales/energia_hidr/4_impacto.htm#
- Ignacio López Domínguez, R. V. (2022). Gestión del riesgo climático mediante derivados. Aplicación al sector de líneas aéreas en México y España. *Contabilidad y Negocios*.
- INEI. (2020). *Estado de la Población Peruana 2020*. Lima.
- INEI. (2021). *Estado de la Población Peruana 2020*. Lima: INEI.
- INEI. (2023). *INEI*. Obtenido de <https://m.inei.gov.pe/prensa/noticias/caudal-del-rio-rimac-disminuyo-125-en-octubre-de-2023-14662/>
- INEI. (s.f.). *INEI*. Obtenido de <https://observatorio.ceplan.gob.pe/ficha/t81>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (Octubre de 2023). *Gobierno del Perú - Nota Prensa*. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/inei/noticias/857238-produccion-de-agua-potable-en-lima-metropolitana-aumento-3-0>
- INTE PUCP. (26 de Julio de 2023). ¿Cuáles son los mayores problemas ambientales que amenazan al Perú? Lima, Lima, Perú.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2023). *Climate Change 2022 - Mitigation of Climate Change*. Cambridge University Press. doi:<https://doi.org/10.1017/9781009325844>
- International Energy Agency. (Enero de 2021). *Climate Impacts on Latin American Hydropower – Analysis*. Obtenido de <https://www.iea.org/reports/climate-impacts-on-latin-american-hydropower>
- Ishikawa, K. (1986). *Guide to Quality Control*. Tokio.
- Javier Antiporta, E. A. (2020). *Construcción, Reparación y Mejoramiento de Amunas*. Montreal: CUBHIC.
- Llosa Larrabure, J. (2014). *Cambio climático en el Perú*. Lima: Universidad San Ignacio de Loyola.
- Macro Consult. (7 de Marzo de 2024). *El fin de la “sobreoferta” eléctrica y su impacto en los clientes libres*. Obtenido de <https://sim.macroconsult.pe/el-fin-de-la-sobreoferta-electrica-y-su-impacto-en-los-clientes-libres/>
- María José Quintero Santos, C. E. (2018). *Métodos Preventivos para un funcionamiento Seguro y Eficaz en las Centrales Hidroeléctricas*. Honduras.
- MEF. (05 de Julio de 2021). *Invierte*. Obtenido de <https://ofi5.mef.gob.pe/invierte/formato/verProyectoCU/2523500>
- MEF. (2023). *Ministerio de Economía y Finanzas del Perú*. Obtenido de Estimación de costos para infraestructura hídrica en el Perú.: <https://www.mef.gob.pe>
- MINAM. (27 de Noviembre de 2024). Política Nacional: Estrategia Nacional ante el Cambio Climático al 2050. *Decreto Supremo Política Nacional: Estrategia Nacional ante el Cambio Climático al 2050*. Lima, Lima, Perú : El Peruano.

- Ministerio Agricultura. (2010). *Estudio Hidrológico y Ubicación de la Red de Estaciones Hidrométricas en la Cuenca del Río Rímac*. Lima.
- Ministerio de Agricultura y Riego. (2010). *Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos, Decreto Supremo N.º 001-2010-AG*. Lima.
- Ministerio de Agricultura y Riego. (2015). *Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos, Decreto Supremo N.º 007-2015-MINAGRI*. Lima.
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (Mayo de 2024). *La Energía Eléctrica*. Obtenido de Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego:
<https://www.midagri.gob.pe/portal/datero/45-sector-agrario/recurso-energetico/342-la-energia-electrica>
- Ministerio de Economía y Finanzas. (2024). Informe final sobre el cálculo del Precio Social del Carbono para el Perú en 2024. En *Ministerio de Economía y Finanzas*.
- Ministerio de Economía y Finanzas del Perú. (Abril de 2018). *Invierte.pe*. Obtenido de CREACION DE LA REPRESA JACAYBAMBA - DISTRITO DE HUAROS - PROVINCIA DE CANTA - DEPARTAMENTO DE LIMA:
<https://ofi5.mef.gob.pe/invierte/formato/verInversion/2395059>
- Ministerio de Economía y Finanzas del Perú. (2019). *Ministerio de Economía y Finanzas del Perú*. Obtenido de <https://www.mef.gob.pe/es/normatividad-in-publica/instrumento/directivas/19114-resolucion-directoral-n-001-2019-ef-63-01-2/file>
- Ministerio de Economía y Finanzas del Perú. (Junio de 2020). *Invierte.pe*. Obtenido de MEJORAMIENTO DEL SERVICIO DE PROVISION DE AGUA PARA RIEGO, MEDIANTE SISTEMA DE REPRESAMIENTO EN LA CUENCA DEL RIO SAMA, DISTRITO DE INCLAN - PROVINCIA DE TACNA - DEPARTAMENTO DE TACNA: <https://ofi5.mef.gob.pe/invierte/formato/verInversion/2490258>
- Ministerio de Economía y Finanzas del Perú. (Marzo de 2022). *Invierte.pe*. Obtenido de CREACION DEL NUEVO EMBALSE AUTISHA EN LA SUBCUENCA SANTA EULALIA - DISTRITO DE SAN ANTONIO - PROVINCIA DE HUAROCHIRI - DEPARTAMENTO DE LIMA:
<https://ofi5.mef.gob.pe/invierte/formato/verInversion/2544899>
- Ministerio de Economía y Finanzas del Perú. (Diciembre de 2022). *Invierte.pe*. Obtenido de CREACION DEL SERVICIO DE EMBALSE DEL RIO GRANDE EN LAS LOCALIDADES DEL HUALTIPAMPA BAJA Y ALISO COLORADO DEL DISTRITO DE CAJAMARCA - PROVINCIA DE CAJAMARCA - DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA:
<https://ofi5.mef.gob.pe/invierte/formato/verInversion/2570678>
- Ministerio del Ambiente. (2012). *Evaluación de los impactos del cambio climático en la hidrología en la montaña*. USA: Stockholm Environment Institute.
- Ministerio del Ambiente. (2023). *Política Nacional del Ambiente*. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/minam/campa%C3%B1as/2041-politica-nacional-del-ambiente>

- Molinelli, F. (2018). Análisis de las Facilidades y Barreras para la Inversión en Centrales Hidroeléctricas. 14-50.
- NASA. (2023). *Climate NASA*. Obtenido de <https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/?intent=121>
- O, C., J, G., P, L., & P, V. (2023). *Business Consulting para – CANOVAS S.A.C*. Lima: CENTRUM PUCP.
- OCDE. (2021). GOBERNANZA DEL AGUA EN PERÚ. 2.
- Ohaira Ricra, P. Q. (2022). Siembra de agua a través de infraestructura natural de recarga hídrica (AMUNA) en la comunidad San Pedro de Casta, Lima, Perú. *IDESIA*, 51-57.
- Ollero Ojeda, A. (2017). Restauración ambiental, social y territorial frente a los impactos generados por los embalses. *Geographicalia*, 139-153.
doi:https://doi.org/10.26754/ojs_geoph/geoph.1995321727.
- Orygen. (06 de 2024). *Orygen Perú*. Obtenido de <https://www.orygen.com/suministro-de-energia-renovable/>
- Osinermin. (2024). *Informe técnico que sustenta la fijación de tarifas en barra (mayo 2024 - abril 2025)*. Lima: Osinermin.
- OSINERGMIN. (2024). *Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería*. Obtenido de <https://www.gob.pe/osinermin>
- Panduro, A. C. (2020). *Alianza Latinoamericana de Fondos de Agua*. Obtenido de <https://www.fondosdeagua.org/es/>
- Panduro, A. C. (2020). *Impacto de las amunas en la seguridad hídrica de Lima*. Lima: The Nature Conservancy.
- Porter, M. (Enero de 1979). *Harvard Business Review*. Obtenido de <https://hbr.org/2008/01/the-five-competitive-forces-that-shape-strategy>
- (s.f.). *Recuperando la infraestructura y la técnica ancestral de las amunas en Perú*.
- Red Eléctrica de España. (2020). *Emisiones de CO2 asociadas a la generación de electricidad en España*.
- Retail, A. (Abril de 2024). *America Retail*. Obtenido de <https://america-retail.com/paises/peru/el-interes-por-la-sostenibilidad-y-la-conciencia-ambiental-alcanza-a-mas-de-10-millones-de-personas-en-peru/>
- Rodríguez Villanueva, C. (2018). Impacto ambiental en embalses y su efecto sobre la fauna acuática. Lima. Obtenido de https://www.cip.org.pe/events/estudio_ambiental_embalses_presas/
- Roja, M. (12 de Julio de 2024). *Infobae*. Obtenido de <https://www.infobae.com/peru/2024/07/12/peru-aumento-el-numero-de-habitantes-en-el-2024-estudio-de-inei-revela-la-nueva-cifra/>

- Saenz, M. A. (2019). *Proyectos de Inversión de Optimización de Siembra y Cosecha del Agua*. Lima: Ministerio de Agricultura y Riego.
- SEDAPAL. (2022). *Reporte de Sostenibilidad 2022*. Lima.
- SENAMHI. (Diciembre de 2010). Monitoreo de Lluvias en la cuenca del Rio Rimac. pág. 4.
- SENAMHI. (2016). Estudio de vulnerabilidad climática de los recursos hídricos en las cuencas de los ríos Chillón, Rímac, Lurín y parte alta del Mantaro. Obtenido de <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-38.pdf>
- SENAMHI. (Diciembre de 2023). Caracterización Pluviométrica de la cuenca del río Rimac, Chillón y Lurín. págs. 9-20.
- SENAMHI. (2023). *Monitoreo de lluvias en la cuenca de los ríos Chillón, Rímac y Lurín "CHIRILU"*. Lima: Dirección de Meteorología y Evaluación Ambiental Atmosférica.
- SENAMHI. (2024). *Evaluación de los impactos del cambio de uso de suelo y cambio climático sobre las respuestas hidrológicas en el contexto de los MERESE. Caso cuenca andina peruana*. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12542/3346>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2014). *Indicadores de alteración hidrológica del río Rímac*. Lima: Ministerio del Ambiente.
- The Economist. (28 de Febrero de 2022). Nuevo informe del IPCC: más de 3.000 millones de personas se enfrentan a una creciente amenaza del cambio climático. *The Economist*.
- The Nature Conservancy. (2016). *Expediente Técnico de Mejoramiento de la Acequia o Amuna de Recarga Hídrica Saywa Pata- San Pedro de Casta*. Lima: USAID.
- The World Bank In Peru. (2024). *The World Bank In Peru*. Obtenido de <https://www.worldbank.org/en/country/peru/overview>
- UNESCO. (2024). Obtenido de <https://www.unops.org/es/news-and-stories/stories/combating-water-scarcity-in-peru>
- United Nations Climate Change. (Noviembre de 2018). *Cómo la energía hidroeléctrica puede ayudar a la acción climática*. Obtenido de <https://unfccc.int/es/news/como-la-energia-hidroelectrica-puede-ayudar-a-la-accion-climatica#:~:text=El%20desarrollo%20de%20la%20energ%C3%ADa,el%20desplazamiento%20de%20grupos%20%C3%A9tnicos>.
- Villasmil Molero, M. d., Reyes Díaz, J. G., & Socorro González, C. C. (2020). Tipos de rentabilidad: consecuencias de una eficiente gestión estratégica de costos en empresas manufactureras del plástico. Sello Editorial Tecnológico de Antioquia. Obtenido de <https://dspace.tdea.edu.co/handle/tdea/1074>
- Wagner, H.-J. M. (2011). *Introduction to Hydro Energy Systems: Basics, Technology and Operation*. Springer.
- World Bank. (Abril de 2024). Obtenido de <https://www.worldbank.org/en/country/peru/overview>

- World Wildlife Fund (WWF). (07 de 07 de 2021). *Las represas y su impacto en la naturaleza*. Obtenido de World Wildlife Fund:
<https://www.worldwildlife.org/descubre-wwf/historias/las-represas-y-su-impacto-en-la-naturaleza>
- Yupanqui R., L. W. (2017). *Regionalización de las Precipitaciones Máximas del Perú*. Lima: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).



Apéndice A: Entrevista Realizada

1. Presentación

¡Buenos días/tardes/noches Sr(a)! El día de hoy estamos presente, Alejandra Lovaton, Christiam Ramírez, Sergio Garamendi y Mary Dominguez. Nosotros somos un equipo de estudiantes del programa de Maestría Especializada de Energía de la casa de estudios CENTRUM – PUCP. Antes de iniciar la entrevista, agradecemos por brindarnos un espacio en su agenda para el desarrollo de esta reunión que tiene como objetivo recopilar datos, investigar y comprender las causas del problema de limitación de recursos hídricos en las centrales de hidroeléctricas de Orygen

2. Reglas para la Entrevista

Todas las respuestas que puedan brindarnos serán consideradas en para efecto de la evaluación de este trabajo de tesis, el análisis y juicio de expertos representa una información de entrada fundamental para la implementación de la propuesta del proyecto de tesis.

3. Modalidad: Reunión Virtual

De: Garamendi Camilhuaga, Sergio Andres, ORYGEN <sergio.garamendi@orygen.com>

Enviado el: viernes, 25 de octubre de 2024 9:48

Para: Garamendi Camilhuaga, Sergio Andres, ORYGEN; Ortiz Esteban, Luis Alfonso, ORYGEN; Villaorduña Vergara, Liliana Milagros, ORYGEN; Dominguez Benites, Mary Carmen, ORYGEN; Lovaton Haaman, Alejandra, ED PERU; Ramirez Saavedra, Christiam Paul, ED PERU

CC: Lovaton Haaman, Alejandra, ED PERU; Rojas Arana, Emma Lizeth, ORYGEN; De La Vega Morales, Uriel, ORYGEN; Abello Montoya, Augusto, ORYGEN; Huaman Marky, Raphael, ORYGEN; Huaranca Huaman, Daniel, ORYGEN; Bilbao Briceño, Susan Fiorela, ORYGEN

Asunto: Proyectos rehabilitación de Amunas para mejorar la prod hidroeléctrica

Cuándo: lunes, 28 de octubre de 2024 16:30-17:30 (UTC-05:00) Bogotá, Lima, Quito, Rio Branco.

Ubicación: Reunión de Microsoft Teams

Estimado Luis, Lili,

De acuerdo a lo que les comenté, para la elaboración de nuestra Tesis de Maestría hemos estudiado los proyectos de recuperación de amunas y el beneficio que podrían traer sobre la producción hidroeléctrica, en particular para la CH Matucana y Callahuanca. Agendo este espacio para mostrarles nuestra evaluación y conversar sobre el asunto.

Microsoft Teams [¿Necesita ayuda?](#)

4. Datos del Entrevistado:

Tabla A1

Datos Generales

Nombre Completo	# Documento Identidad	Nivel Educativo
Liliana Villaorduña		Universitario Completo
Universidad	Profesión	Correo
Universidad Nacional Agraria La Molina	Ingeniera Agrícola	liliana.villaorduna@orygen.com
Celular		
+51 997 707 754		
Datos Profesionales		
Empresa Actual	Unidad Organizativa	Área / Línea Negocio:
Orygen Perú	Commercial	Production and Optimization

5. Abordaje:

Tabla A2

Perfil del Entrevistado

Perfil del Entrevistado	Sector	Puesto/Posición
Especialista Técnico en impacto ambiental	Hidrología	Hidróloga

- a) ¿Cuál es su experiencia en la organización (y/o ente gubernamental), con relación a la gestión del recurso hídrico?
- b) ¿Cómo percibe la relación entre el cambio climático y la disponibilidad de recursos hídricos en la cuenca del Río Rímac u otras cuencas importantes?
- c) ¿Existe alguna posibilidad de que las cuencas hidrográficas puedan degradarse a sus mínimos niveles si es que no se toman las acciones necesarias?
- d) ¿Qué herramientas utilizan para predecir los caudales o variables ambientales?

- e) ¿Qué tipo de análisis de predictibilidad se está realizando para garantizar el abastecimiento de agua en las centrales hidroeléctricas?
- f) ¿De los siguientes factores externos, consideran que son correctos? Basada su experiencia podría mencionarnos el grado de impacto y probabilidad.

Respuesta: Son correctas los factores identificados.

Tabla A3

Factores Identificados.

	Impacto	Probabilidad	Referencia
Factores Políticos			
Incentivos gubernamentales para la preservación del agua			Oportunidad
Crecimiento sin límites y sin planificación de las ciudades			Amenaza
Factores Económicos			
Incremento no planificado del uso de agua por parte de las juntas de regantes			Amenaza
Incentivos gubernamentales para la preservación del agua			Oportunidad
Factores Sociales			
Fuentes de empleo y capacitación para las comunidades			Oportunidad
Conflictos con otros usuarios de agua (SEDAPAL, comunidades, etc.)			Amenaza
Factores Tecnológicos			
Experiencia y conocimiento en la operación de las centrales, y el recurso hídrico necesario para la operación			Oportunidad
Capacidad para la asignación de recursos destinado a la ejecución de nuevos proyectos			Oportunidad
Factores Ecológicos			
Cambio climático			Amenaza
Degradación de la cuenca			Amenaza
Factores legales			
Incentivos gubernamentales para la preservación del agua			Oportunidad
Incrementar la conciencia ambiental			Oportunidad

6. Cierre

Para terminar la entrevista, quiero expresar en nombre de nuestro equipo nuestros sinceros agradecimientos por habernos brindado vuestro tiempo para contestar todas las preguntas formuladas el día de hoy, las cuales serán de gran soporte en el proceso de la investigación que estamos elaborando. En caso, usted considere agregar alguna información adicional a lo comentado, no duden en contactarnos a través de nuestros correos o por medio telefónico.

Muchas gracias y hasta pronto.

Apéndice B: Las Amunas

Las amunas son sistemas hidráulicos ancestrales en Perú que ofrecen una respuesta sostenible y eficiente al desafío de la escasez de agua. Heredadas de las civilizaciones andinas, estas estructuras capturan y almacenan agua de lluvia durante la temporada húmeda y, de forma controlada, la infiltran en el suelo para que fluya hacia las cuencas en la época seca. Esto no solo beneficia a las actividades agrícolas y ganaderas de las comunidades locales, sino que también contribuye al abastecimiento hídrico de grandes ciudades como Lima, situada en una región desértica (Aquafondo, 2024).

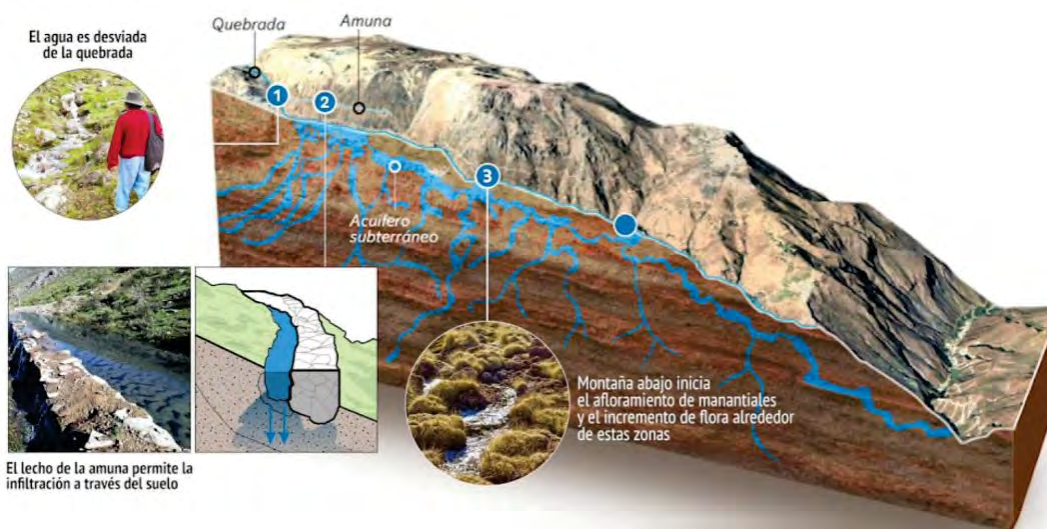
El monitoreo hidrológico en amunas, como el caso de Saywapata, realizado por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua de la Universidad de Ingeniería y Tecnología (UTECH), indica que cada kilómetro de amuna puede aportar un promedio de 225,000 m³ de agua al año, lo que subraya su relevancia en la gestión del agua para la región (Abad Cueva & Rau Lavado, 2018).

¿Cómo Funcionan?

Las amunas funcionan captando agua de las quebradas y conduciéndola por terrenos permeables, permitiendo que esta se infiltre en el subsuelo durante la temporada de lluvias, en un proceso conocido como "siembra de agua" (Aquafondo, 2024) tal como se muestra en la Figura B1. Estudios geológicos y científicos han demostrado que, gracias a esta infiltración, el agua acumulada por las amunas no solo beneficia a las comunidades locales, sino que puede llegar a abastecer zonas más alejadas, incluso ciudades importantes.

Figura B1

Esquema de Funcionamiento de una Amuna.



Nota. Datos tomados de Aquafondo (2024)

1. Impacto Ambiental

Las amunas ofrecen una serie de beneficios ambientales importantes, que no solo mejoran la recarga de los acuíferos subterráneos y la reducción de la erosión, sino que también favorecen la estabilidad ecológica y la conservación de la biodiversidad:

- **Recarga de Acuíferos:** Las amunas permiten que el agua de lluvia y la escorrentía superficial se infiltre en el suelo, recargando los acuíferos y asegurando un flujo constante de agua durante la temporada de estiaje (Chavarría Castillo, 2021).
- **Reducción de la Erosión:** Al reducir la velocidad de la escorrentía superficial, las amunas disminuyen la erosión del suelo en las laderas, estabilizando el terreno y previniendo deslizamientos de tierra (Chavarría Castillo, 2021).
- **Conservación de la Biodiversidad:** Las zonas circundantes a las amunas experimentan un aumento en la vegetación debido a la mayor disponibilidad de agua en el suelo, lo que favorece la creación de microclimas y la conservación de la biodiversidad local (Apaza et al., 2006).

2. Beneficios

Las amunas proporcionan importantes beneficios ambientales, destacando no solo por su contribución a la recarga de acuíferos, sino también ofrecen los siguientes beneficios según el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA, 2015):

- Favorecen una vegetación abundante en las áreas cercanas a los canales de infiltración y en las pendientes, gracias a la alta humedad superficial que generan.
- Ayudan a prevenir la erosión en las laderas, mantienen la humedad del entorno, crean microclimas y preservan la biodiversidad a lo largo de diferentes altitudes.
- Mitigan los daños causados por las fuertes corrientes de agua durante las tormentas en las zonas altas con lluvias intensas.
- Fortalecen la cohesión social y el sentido de pertenencia, reforzando los vínculos culturales y comunitarios.
- Recargan los acuíferos subterráneos que emergen en niveles más bajos de la microcuenca, beneficiando a las comunidades y agricultores de otras áreas (GIAAF, 2017).

Apéndice C: Efecto de una Amuna en la Producción de Energía Hidroeléctrica

1. Volumen de Agua Infiltrado por una Amuna

De acuerdo con la información y cálculos desarrollados en Ohaira Ricra (2022), mediante la ecuación de balance hídrico en la amuna Saywapata, ubicada en el distrito de San Pedro de Casta, determinan el caudal y el volumen infiltrados por kilómetro de amuna implementado entre los meses de setiembre y febrero. Utilizando estos datos como referencia, estimamos el caudal infiltrado por kilómetro de amuna en las cabeceras de cuenca ubicadas aguas arriba de la toma de Tamboraque entre los meses de enero y abril, como se puede apreciar en la Tabla C1.

Tabla C1

Volumen de Agua Infiltrado por Kilómetro

	Ene	Feb	Mar	Abr
Volumen diario (mil m ³ /Km)	2.8	3.9	3.9	2.8
Volumen mensual (mil m ³ /Km)	87.1	108.4	120.1	84.3

Considerando que el proyecto propuesto en la presente tesis corresponde a una amuna de 20 Km de distancia, por lo cual, en la Tabla C2 se muestra el volumen mensual infiltrado por el proyecto:

Tabla C2

Volumen de Agua Infiltrado por el Proyecto de 20 km de Amuna

	Ene	Feb	Mar	Abr
Volumen infiltrado (mil m ³)	1,743	2,169	2,401	1,686

2. Volumen de Agua Recuperado luego de ser Infiltrado por una Amuna

De acuerdo con la información y cálculos desarrollados en (Boris F. Ochoa-Tocachi, 2019), se estima una tasa de recuperación del agua infiltrada del 50%, resultado de sustraer pérdidas por evaporación y percolación profunda alrededor de los manantiales de recuperación aguas abajo; sin embargo, también incluye la sensibilidad con el rango entre

40% y 70%. Para el caso de las evaluaciones del proyecto planteando en la presente tesis se ha considerado el valor de 40%.

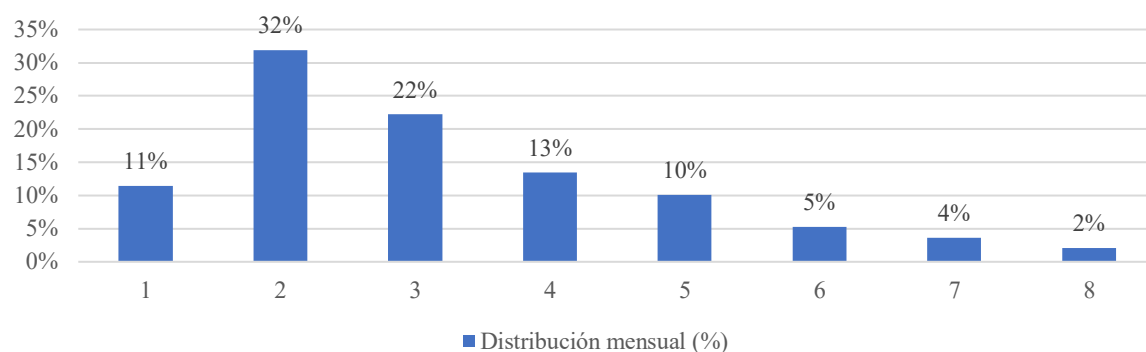
3. Tiempo de Recuperación del Agua Infiltrada por una Amuna

De acuerdo con la información y cálculos desarrollados en Ochoa-Tocachi (2019), mediante experimentos de inyección de trazador colorante (eosin) en un canal de enrutamiento e infiltración aguas arriba y el monitoreo de la resurgencia manantiales aguas abajo, mediante el uso de muestreadores de carbón activado, se reveló la conectividad existente, con un tiempo medio de retención del trazador colorante de 45 días, los cuales varían entre 2 semanas y 8 meses.

Adaptando estos resultados a resolución mensual, en la Figura C1 se muestra la estimación de la distribución de la resurgencia en manantiales del recurso hídrico infiltrado.

Figura C1

Distribución de la Resurgencia en Manantiales del Agua Infiltrada por la Amuna



4. Volumen de Agua Recuperada y su Temporalidad Post Infiltración a través de la Amuna del Proyecto

Para estimar el volumen recuperado y la cantidad que emergerá mes a mes, se siguieron los siguientes pasos: Primero, para cada mes se multiplicó el volumen infiltrado, presentado en la Tabla C1, por el porcentaje de recuperación de 40% indicado anteriormente. Luego, el volumen total recuperado de cada mes se multiplicó por la distribución de la resurgencia mostrada en la Figura C1, obteniendo así la distribución del volumen recuperado

que resurgirá mensualmente a partir de la infiltración. Los resultados se presentan en la Tabla C3.

Tabla C3

Volumen de Recurso Hídrico Recuperado Post Infiltración en la Amuna

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Infiltrado en Enero		80	223	155	94	70	37	25	14			
Infiltrado en Febrero			99	277	193	116	88	45	31	18		
Infiltrado en Marzo				110	307	213	129	97	50	35	20	
Infiltrado en Abril					77	215	150	91	68	35	24	14
Total (mil m ³)	0	80	322	542	670	616	403	258	164	88	44	14

Con el volumen que resurgirá cada mes, se procedió a calcular los caudales equivalentes mensuales dividiendo dicho volumen entre el tiempo en segundos. Los resultados se muestran en la Tabla C4.

Tabla C4

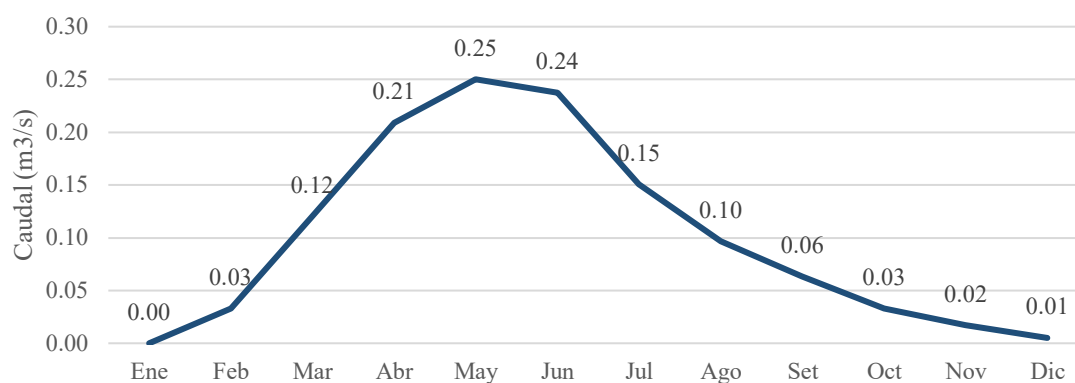
Caudal Correspondiente al Volumen Recuperado Post Infiltración en la Amuna

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Infiltrado en Enero		0.03	0.08	0.06	0.03	0.03	0.01	0.01	0.01			
Infiltrado en Febrero			0.04	0.11	0.07	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01		
Infiltrado en Marzo				0.04	0.11	0.08	0.05	0.04	0.02	0.01	0.01	
Infiltrado en Abril					0.03	0.08	0.06	0.03	0.03	0.01	0.01	0.01
Total (m ³ /s)	0.00	0.03	0.12	0.21	0.25	0.24	0.15	0.10	0.06	0.03	0.02	0.01

Es importante señalar que, como se aprecia en la Figura C2, existe un desfase temporal en el caudal. En general, los mayores caudales en la cuenca se registran entre los meses de enero y abril; sin embargo, debido al recorrido subterráneo del agua infiltrada a través de la amuna, el caudal recuperado comienza a resurgir en meses posteriores, alcanzando su pico en mayo.

Figura C2

Caudal recuperado post infiltración en la amuna



5. Producción de Energía Hidroeléctrica

Con el caudal aportado por la amuna, se procede a calcular la energía adicional que generarían mensualmente las centrales hidroeléctricas Matucana y Callahuanca, al multiplicarlo por sus respectivos factores de producción, mostrados en la Tabla 10. Los resultados de la energía adicional generada se presentan en la Tabla C5 y la Tabla C6.

Tabla C5

Estimación de Potencia y Energía Adicional en la CH Matucana

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
Potencia promedio mensual adicional (MW)	-	-	-	-	2.2	2.1	1.3	0.8	0.5	0.3	0.1	0.0	-
Energía adicional (MWh)	-	-	-	-	1,610	1,479	968	621	395	211	106	33	5,423

Tabla C6*Estimación de Potencia y Energía Adicional en la CH Callahuanca*

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
Potencia promedio mensual adicional (MW)	-	-	-	-	0.9	0.8	0.5	0.3	0.2	0.1	0.1	0.0	-
Energía adicional (MWh)	-	-	-	-	636	584	382	245	156	83	42	13	2,142



Apéndice D: Cálculo del Costo de Capital Promedio Ponderado (CCPP, WACC)

A continuación, se detalla el cálculo de los componentes que conforman el WACC:

Donde:

- Deuda (D): 29%
- Capital Propio (E): 71%
- Impuesto a la renta (IR): 30%¹¹
- Costo de la deuda antes de impuestos): 6.2%¹²
- Riesgo país: 1.8%¹³
- Tasa libre riesgo (Rf): 4.9%¹⁴
- Prima mercado: 6.8%¹⁵
- Kd después de impuestos: 4.4%
 - $Kd = \text{Costo de la deuda (antes de impuesto)} * (1 - IR)$
 - $Kd = 6.2% * (1 - 29%)$
- Beta des apalancada: 0.53%¹⁶
- Beta apalancado: 1.43%
 - $Beta \text{ apalancado} = Beta \text{ des apalancada} * (1 + (1 - IR) * (Deuda(D)/Capital \text{ Pr\u00f3p}io(E)))$
 - $Beta \text{ apalancado} = 0.53% * (1 + (1 - 29%) * (29%/71%))$
- Ks: 16.4%
 - $Ks = Rf + Beta \text{ apalancado} * Prima \text{ mercado} + Riesgo \text{ pa\u00eds}$
 - $Ks = 4.9% + 1.43 * 6.8% + 1.8%$

¹¹ Tasa del impuesto a la renta (<http://www.sunat.gob.pe/legislacion/renta/ley/capvii.pdf>)

¹² Tasas Activas Anuales de las Operaciones en Moneda Nacional Realizadas en los Últimos 30 Días Útiles Por Tipo de Crédito al 25/10/2024 -

<https://www.sbs.gob.pe/app/pp/EstadisticasSAEEPPortal/Paginas/TIActivaTipoCreditoEmpresa.aspx?tip=B>

¹³ <http://www.bcrp.gob.pe/docs/Estadisticas/Cuadros-Estadisticos/cuadro-035.xlsx>

¹⁴ <https://estadisticas.bcrp.gob.pe/estadisticas/series/diarias/resultados/PD04719XD/html/2021-01-01/2024-10-25/>

¹⁵ <https://www.spglobal.com/spdji/es/indices/equity/sp-500/#overview>

¹⁶ <https://www.infrontanalytics.com/fe-es/30139EI/Enel-SpA/Beta>

WACC = Deuda(D) * Kd después de impuestos + Capital Propio(E) * Ks

WACC = 71% * 4.4% + 29% * 16.4%

WACC = 7.89%

