

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**LA MOLINA**

**FACULTAD DE ECONOMÍA Y PLANIFICACIÓN**



**“EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LAS INTERVENCIONES EN  
INFRAESTRUCTURA NATURAL: RECUPERACIÓN DEL  
SERVICIO ECOSISTÉMICO DE LA MICROCUENCA *TRES  
RÍOS*, CAJAMARCA- PERÚ”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA OPTAR  
TÍTULO DE ECONOMISTA**

**DIEGO ADAN LOPE TENORIO**

**LIMA - PERÚ**

**2024**

**La UNALM es titular de los derechos patrimoniales de la presente  
investigación (Art. 24- Reglamento de Propiedad Intelectual)**

## INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>17</b> %	<b>17</b> %	<b>5</b> %	<b>5</b> %
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>www.mef.gob.pe</b> Fuente de Internet	<b>1</b> %
<b>2</b>	<b>www.diariovoces.com.pe</b> Fuente de Internet	<b>1</b> %
<b>3</b>	<b>www.forest-trends.org</b> Fuente de Internet	<b>1</b> %
<b>4</b>	<b>cybertesis.unmsm.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1</b> %
<b>5</b>	<b>sinia.minam.gob.pe</b> Fuente de Internet	<b>1</b> %
<b>6</b>	<b>garciasantillanbrendanicoletwo.home.blog</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1</b> %
<b>7</b>	<b>purl.org</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1</b> %
<b>8</b>	<b>www.catie.ac.cr</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1</b> %
<b>9</b>	<b>www.coursehero.com</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1</b> %

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA  
FACULTAD DE ECONOMÍA Y PLANIFICACIÓN**

**“EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LAS INTERVENCIONES EN  
INFRAESTRUCTURA NATURAL: RECUPERACIÓN DEL  
SERVICIO ECOSISTÉMICO DE LA MICROCUENCA *TRES  
RÍOS*, CAJAMARCA- PERÚ”**

**PRESENTADO POR  
DIEGO ADAN LOPE TENORIO**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA OPTAR EL  
TÍTULO DE ECONOMISTA**

**SUSTENTADO Y APROBADO ANTE EL SIGUIENTE JURADO**

Dr. José Miguel Sánchez Uzcátegui  
**Presidente**

Ph. D. Jorge Alfonso Alarcón Novoa  
**Asesor**

Mg. Sc. Ramón Alberto Diez Matallana  
**Miembro**

Dr. Carlos Iván Palomares Palomares  
**Miembro**

Lima- Perú

2024

## **DEDICATORIA**

A mi amada hermana Flor, principal cimiento para la construcción de mi vida profesional.

A mis padres Adan e Ida, por su amor incondicional a tiempo y fuera de tiempo.

## **AGRADECIMIENTO**

Mi agradecimiento al Dr. Jorge Alarcón por la revisión cuidadosa y sus valiosas sugerencias para la elaboración del documento.

A mis compañeros de la Dirección General de Economía y Financiamiento Ambiental por su orientación y atención a mis consultas, especial mención a Miguel Bernuy, Especialista en Instrumentos Financieros, por sus amplios conocimientos y experiencia en la formulación de proyectos de inversión en infraestructura natural.

Con gratitud y respeto a Emiliano, Evelyn, Liliana, Eduardo, Aldo y Nelyda, quienes enfrentaron adversidades con valentía y determinación, pero nos dejaron demasiado pronto.

## INDICE GENERAL

<b>I.</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1	Problemática.....	1
1.3.	Objetivos .....	6
1.3.1	Objetivo general.....	6
1.3.2	Objetivos específicos .....	6
<b>II.</b>	<b>REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>7</b>
	<b>MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL .....</b>	<b>7</b>
2.1	Teoría de proyectos públicos.....	7
2.2	El mercado .....	11
2.3.	Comportamiento del servicio ecosistémico de control de erosión de suelo.....	14
2.4	Evaluación de intervenciones en Infraestructura Natural .....	18
<b>III.</b>	<b>DESARROLLO DEL TRABAJO .....</b>	<b>32</b>
3.1	Ámbito de estudio .....	32
3.2	Naturaleza del estudio.....	43
3.3.	Diseño del estudio de evaluación.....	44
3.4	Procedimiento para el logro de los objetivos planteados.....	44
<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>51</b>
4.1	Análisis del mercado de servicio ecosistémico de control de erosión de suelos 51	
4.2	Análisis Costo-Eficacia.....	60
4.3	Discusión de los resultados .....	69
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>72</b>
<b>VI.</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>74</b>
<b>VII.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>76</b>
<b>VIII.</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>86</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Localización política del área de estudio</i> .....	39
Tabla 2. Resumen de estado de conservación de la subcuenca del río El Carrasco.....	43
Tabla 3. Cálculo de la erosión en TM/año en la microcuenca, año 2020 .....	46
Tabla 4. Valor de la erosión del suelo según su clasificación.....	47
Tabla 5. <i>Erosión total del suelo</i> .....	47
Tabla 6. Turbiedad promedio de agua sedimentada en el periodo 2019-2020* (NTU) .	58
Tabla 7. <i>Turbiedad anual del periodo 2019-2034 (TM)</i> .....	58
Tabla 8. Estimación de la demanda anual del servicio ecosistémico de control de erosión de suelos en el periodo 2019-2034 (TM) .....	59
Tabla 9. Número de hectáreas según categoría de erosión en la microcuenca “Tres Ríos” en el periodo 2000-2020 (ha) .....	59
Tabla 10. Proyección de hectáreas de ecosistemas según categoría de erosión en la microcuenca “Tres Ríos” en el periodo 2021-2034 (ha).....	60
Tabla 11. Proyección de erosión en la microcuenca “Tres Ríos” en el periodo 2021-2034 (TM).....	61
Tabla 12. Proyección de la producción de sedimentos de la microcuenca “Tres Ríos” para el periodo 2021-2034 (TM/año).....	61
Tabla 13. Hectáreas que evitan sedimentos en la microcuenca en una situación ideal (ha)	62
Tabla 14. Sedimentos evitados en la microcuenca en una situación ideal (TM) .....	62
Tabla 15. Oferta sin proyecto de la microcuenca “Tres Ríos” (TM).....	63
Tabla 16. Efecto de la recuperación de 32.85 hectáreas (ha).....	63
Tabla 17. Efecto de la recuperación de 32.85 hectáreas en la producción de sedimentos (TM)	64
Tabla 18. <i>Brecha Oferta optimizada-demanda (TM/año)</i> .....	65
Tabla 19. Contribución del proyecto en el horizonte de evaluación (TM) .....	65
Tabla 20. Acciones directas – subcuenca del río El Carrasco .....	66
Tabla 21. Acciones indirectas – subcuenca del río El Carrasco .....	66
Tabla 22. <i>Metas de los activos físicos por acción</i> .....	68
Tabla 23. <i>Detalle de la estructura de costos</i> .....	69
Tabla 24. Programación por inversión en fase de funcionamiento .....	71
Tabla 25. Detalle de la estructura de costos por año en la fase de funcionamiento .....	72
Tabla 26. <i>Cálculo de CE del proyecto de inversión</i> .....	73

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Curvas de oferta y demanda del servicio ecosistémico</i> .....	22
Figura 2. <i>Recuperación de un servicio ecosistémico</i> .....	23
Figura 3. Plano en cuadrantes del ratio costo eficiencia .....	32
Figura 4. Relación entre el CE y una línea de disposición a pagar .....	33
Figura 5. <i>Contenido del área de estudio</i> .....	34
Figura 6. Mapa de ubicación política de la subcuenca del río El Carrasco.....	40
Figura 7. Mapa de ubicación hidrográfica de la subcuenca del río El Carrasco .....	41
Figura 8. Mapa de estado de conservación de pajonales, tólares y bosques andinos, matorrales y bofedales en la subcuenca del río El Carrasco .....	42
Figura 9. Erosión hídrica del año 2020-método RUSLE (TM/Ha).....	45
Figura 10. Distribución espacial y temporal de la erosión del suelo en la subcuenca del río El Carrasco para los años 2000, 2005, 2010, 2015 y 2019.....	47
Figura 11. <i>Erosión del suelo vs tiempo</i> .....	48
Figura 12 Diagrama de turbiedad promedio mensual NTU en los años 2019-2020.....	57
Figura13. <i>Ubicación de acciones directas</i> .....	67



## LISTADO DE ABREVIATURAS

ACB	Análisis Costo-Beneficio
ACE	Análisis Costo-Eficiencia
ACU	Análisis Costo-Utilidad
CB	Costo-Beneficio
CE	Costo-Eficiencia
COPY	Años de Protección de la Producción de Conservación
CU	Costo-Utilidad
DGEFA	Dirección General de Economía y Financiamiento Ambiental
EPS SEDACAJ	Empresa de Servicios de Saneamiento de Cajamarca
FC	Factor de corrección
FIDA	Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola
HA	Hectáreas
ICER	Ratio Costo-Eficiencia
MEF	Ministerio de Economía y Finanzas
MERESE	Mecanismos de retribución por servicios ecosistémicos
MINAM	Ministerio del Ambiente
NTU	Unidad Nefelométrica de Turbidez
PSEH	Participación Social en Ecosistemas Hídricos
QALY	Años de vida ajustados por calidad
RCU	Ratio Costo-Utilidad
RM	Resolución Ministerial
RUSLE	Ecuación universal de pérdida de suelo revisada
SE	Servicios ecosistémicos
TM	Toneladas métricas
TRA	Evaluación de reducción de amenazas
TSP	Trabajo de Suficiencia Profesional
UP	Unidad Productora
VACS	Valor actual de los costos a precios sociales

## RESUMEN

El presente documento tiene como objetivo evaluar económicamente las intervenciones en Infraestructura natural para la recuperación del servicio ecosistémico de control de erosión de suelos en la microcuenca “Tres Ríos”, en la región de Cajamarca, mediante la determinación del indicador Costo-eficacia para la población de la ciudad de San Miguel, Cajamarca. Este estudio ha tomado como referencia la metodología y directrices de los Lineamientos para la Formulación de los Proyectos de Inversión, en cuanto a las Tipologías Ecosistemas, Especies y Apoyo al uso Sostenible (Resolución Ministerial 178-2019-MINAM), así como la guía ex-ante del Sistema Nacional de Programación Multianual y Gestión de Inversiones “Invierte.pe”. Se tuvo previsto que el proyecto sea ejecutado mediante la modalidad de administración directa, por lo que la gestión de recursos se mantiene a cargo de la Empresa de Servicios de Saneamiento de Cajamarca S.A (EPS SEDACAJ S.A). La evaluación de la oferta y la demanda del servicio ecosistémico de control de erosión ha proporcionado información valiosa sobre cómo los ecosistemas en Calquis contribuyen a la mitigación de la erosión y a la conservación del suelo, estimándose una reducción de la producción de sedimentos de 357 TM/m<sup>3</sup> durante trece años, que representa un cierre de brecha de la demanda del 0.83%. Se resalta la importancia de integrar consideraciones de eficiencia y sostenibilidad en la planificación y ejecución de proyectos de inversión pública a través del sistema “Invierte.pe”. Los resultados obtenidos en este estudio ofrecen una base sólida para la toma de decisiones informadas, que priorizan la conservación de los ecosistemas y el bienestar de las comunidades locales.

**Palabras clave:** evaluación económica, costo-eficiencia, cuenca hidrográfica, servicios ecosistémicos, infraestructura natural,

## ABSTRACT

The objective of this document is to economically evaluate the interventions in natural Infrastructure for the recovery of the ecosystem service of soil erosion control in the “Tres Ríos” microbasin in the Cajamarca region by determining the Cost-effectiveness indicator for the population about city of San Miguel, Cajamarca. This study has taken as reference the methodology and of the Guidelines for the Formulation of Investment Projects, regarding the Typologies of Ecosystems, Species and Support for Sustainable Use (Ministerial Resolution N° 178-2019-MINAM), as well as the ex-ante guide to the National Multiannual Programming and Investment Management System “Invierte.pe”. It was planned that the project would be executed through the direct administration modality, so the management of resources will remain in charge of the Cajamarca Sanitation Services Company S.A (EPS SEDACAJ S.A). The evaluation of the supply and demand of the erosion control ecosystem service has provided valuable information on how the ecosystems in Calquis contribute to erosion mitigation and soil conservation, estimating a reduction in sediment production of 357 MT/ m<sup>3</sup> for thirteen years, which represents a closing of the demand gap of 0.83%. The importance of integrating efficiency and sustainability considerations in the planning and execution of public investment projects through system “Invierte.pe” is highlighted. The results obtained in this study offer a solid basis for making informed decisions, which prioritize the conservation of ecosystems and the well-being of local communities.

**Keywords:** *economic evaluation, cost-efficiency, hydrographic basin, ecosystem services, natural infrastructure.*

# I. INTRODUCCIÓN

## 1.1 Problemática

En un país como el Perú, reconocido como uno de los siete países con mayor riqueza biológica en todo el planeta, la infraestructura natural es la base del sustento y conservación de los grupos más vulnerables. La biodiversidad en el Perú aporta al menos el 22% de la economía y el 24% de las exportaciones (MINAM, 2010).

Por otro lado, en cuanto a los servicios ecosistémicos, podemos señalar, por ejemplo, que los humedales andinos filtran el agua que luego es consumida por las poblaciones costeras, mientras que los bosques de selva de montaña alta controlan la erosión del suelo y evitan las inundaciones<sup>1</sup>. Estos son servicios gratuitos proporcionados por la infraestructura natural. En este sentido, la infraestructura natural y la infraestructura física deben ser vistas como dos elementos que se complementan, se refuerzan y benefician a los ciudadanos.

Es preciso indicar que la brecha en infraestructura física es un desafío, pero también una oportunidad para integrar la sostenibilidad de las inversiones públicas en las políticas y programas nacionales. Al considerar la infraestructura natural en el diseño de ingeniería, es posible considerarla como factores que reducen los costos, reducen la vulnerabilidad y sostienen el desempeño a largo plazo de la infraestructura física.

En cuanto a los ecosistemas andinos, Herzog et al. (2011) mencionan que el factor más importante que afecta a los ecosistemas es el cambio de uso o uso inadecuado del suelo; lo cual, en muchos casos, genera la desertificación de distintas índoles, lo que provoca una ausencia de vida, según la elevación, la latitud y los gradientes de humedad. Según Tognelli et al. (2016) establecieron que los servicios hidrológicos podrían reducirse cuando los ecosistemas naturales se tornan en ecosistemas devastados antropogénicamente, debido al manejo inapropiado como: Conversión de pastizales en sistemas de producción agrícola o plantaciones, deforestación para conversión a pastos con fines de ganadería o agricultura y quemas de pajonales y bosques

---

<sup>1</sup> Inversión en Infraestructura Natural. Haciendo Sostenibles las Inversiones en Infraestructura Física, Documento de Trabajo 5

En Cajamarca, las problemáticas asociadas al suelo, se centran mayormente en las actividades humanas. En este contexto, los desafíos directamente derivados de la intervención antropogénica en los suelos son actualmente bastante pronunciados. La erosión, desertificación, contaminación, compactación, expansión urbana y pérdida de fertilidad son algunas de las cuestiones más apremiantes que impactan de manera significativa en la calidad de los suelos en la actualidad. Es fundamental que la humanidad colabore activamente en la creación de condiciones propicias.

Asimismo, a partir de los talleres llevados a cabo en el centro poblado de "Tres Ríos" y la información proporcionada por la EPS SEDACAJ, se ha detectado un inconveniente relacionado con el "Deterioro del servicio ecosistémico de control de erosión del suelo en la microcuenca del río 'Tres Ríos', departamento de Cajamarca". Sin embargo, la R.M. 178-2019-MINAM establece que los proyectos de inversión en servicios ecosistémicos presentan como problema central la "Disminución del servicio ecosistémico de control de erosión... en la microcuenca, en el Distrito..., Provincia..., Departamento...". En consecuencia, se identifica el problema central del proyecto de inversión como la "disminución del servicio ecosistémico de control de erosión del suelo en la microcuenca 'Tres Ríos', en el distrito de Calquis, provincia de San Miguel, departamento de Cajamarca".

El deterioro de los estados de conservación, es dado por los efectos del cambio climático y por las malas prácticas productivas de la actividad ganadera como el sobrepastoreo que se realiza sin control alguno. El deterioro de los ecosistemas y de los servicios que estos brindan ha sido evidenciado por los pobladores encuestados, señalando que es por efecto del cambio climático caracterizado por cambios en las temperaturas, temporada de lluvia y cantidad y/o frecuencia de precipitaciones<sup>2</sup>. También aceptan que es por responsabilidad del centro poblado "Tres Ríos", que no se ha podido realizar prácticas de pastoreo adecuado, lo cual genera una disminución del del servicio de control de erosión de suelos.

En las provincias de Cajamarca el sobrepastoreo es una de las actividades que mayor impacto

---

<sup>2</sup> El Perú y el Cambio Climático, Segunda Comunicación Nacional del Perú a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático 2010

tiene sobre los ecosistemas andinos y la provisión de servicios ecosistémicos. Por otro lado, el informe del “Diagnóstico del ámbito de la subcuenca El Carrasco en la Cuenca de Jequetepeque para la formulación de un proyecto de inversión en recuperación del servicio ecosistémico de control de erosión de suelos” (MINAM, 2020) también señala que el sobrepastoreo (como una de las causas directas) quita espacio para que prosperen otras especies. A medida que cambia el uso de la tierra, por ejemplo, de vegetación natural a forraje o pastizal agrícola, los procesos biofísicos que controlan las condiciones hidrológicas también cambian y los servicios hidrológicos se degradan.

Esto ocurre cuando se elimina la vegetación de pastizales o bosques, lo que aumenta la escorrentía y reduce la capacidad de almacenamiento de agua del suelo. Por lo tanto, el flujo base es alto y de corta duración durante la estación lluviosa, mientras que el flujo de agua será muy bajo durante la estación seca. Sin embargo, restaurar los servicios hidrológicos a estos ecosistemas afectados es posible a través de proyectos de restauración y restauración de cuencas (Célleri 2010).

La ganadería es la principal actividad económica de la microcuenca “Tres Ríos” y para muchos de estos pobladores, la única fuente de ingreso para su subsistencia. Pero debido a al mal manejo y prácticas de crianza del ganado se generan impactos al medio ambiente que degradan a los ecosistemas y afectan a los servicios generados por estos. Entre las prácticas de degradación tenemos el sobrepastoreo.

La población que requiere el servicio ecosistémico de control de erosión del suelo es la comunidad de la ciudad de San Miguel<sup>3</sup>, la cual ha experimentado una erosión excesiva (o acelerada) en sus suelos, generando problemas tanto dentro como fuera de la zona afectada. Los impactos locales abarcan reducciones en la productividad agrícola y, en los entornos naturales, un colapso ecológico, ambos atribuibles a la pérdida de las capas superiores del suelo ricas en nutrientes. En ciertos casos, esto puede culminar en procesos de desertificación. A nivel extralocal, se observan efectos como la sedimentación de las vías fluviales y la eutrofización de los cuerpos de agua.

En el punto de captación de la Entidad Prestadora de Servicios de Saneamiento de Cajamarca

---

<sup>3</sup> La provincia de San Miguel se ubica al Sur Oeste del departamento de Cajamarca en la Sierra Norte del país, es una de las trece provincias del departamento de Cajamarca.

(EPS- SEDACAJ)<sup>4</sup> el cual, percibe en promedio, una calidad de agua de 8 NTU (Unidad Nefelométrica de Turbidez), que no es para uso potable; para ello, la EPS SEDACAJ ha tenido que incrementar los costos para adquirir insumos químicos para mejorar el tratamiento del agua potable. Es importante señalar que el indicador del servicio ecosistémico de control de erosión de suelos es el nivel de sedimentación evitado en toneladas métricas que genera la capacidad del ecosistema en la microcuenca “Tres Ríos”, entonces, se realizó la conversión de la variable NTU en toneladas métricas, dando como resultado una proyección de 5,014.66 TM<sup>5</sup> anuales de sedimentos que la población estaría exigiendo para tener agua de mejor calidad durante el periodo de ejecución establecido entre el año 2021 y 2034.

A continuación, se presenta el resumen de metas planteadas para el proyecto:

- Adecuación de superficie con cobertura vegetal recuperada de 8.03 ha con 8,921 esquejes de especies forestales aproximadamente.
- Adecuación de terrazas de formación lenta de dos unidades que representan un área de 12.35 hectáreas.
- Implementación de zanjas de infiltración de una longitud de 22,670 metros que representan un área de 12.47 hectáreas.
- Implementación de capacidad a los integrantes de la microcuenca “Tres Ríos” en temas organizacionales que son dos talleres.
- Implementación de asistencia técnica a los integrantes de la microcuenca “Tres Ríos” en manejo y conservación de ecosistemas que son dos talleres.
- Implementación de capacidades al personal operativo de la EPS para el monitoreo y seguimiento del servicio ecosistémico que son dos talleres.
- Implementación de capacidades a los integrantes de la microcuenca “Tres Ríos” para la promoción de productos amigables con el ambiente que son dos talleres.

---

<sup>4</sup> Las EPS son entidades públicas, privadas y mixtas, que brindan los servicios de agua potable, alcantarillado sanitario, tratamiento de aguas residuales para disposición final o reúso y disposición sanitaria de excretas, en las zonas urbanas. En la actualidad, existen 50 empresas prestadoras que están distribuidas en las 24 regiones del Perú. La EPS SEDACAJ S.A. brinda los servicios de agua potable y alcantarillado sanitario en las ciudades de Cajamarca, San Miguel y Contumaza.

<sup>5</sup> Para completar el nivel de turbiedad para el periodo octubre-diciembre 2020, se utiliza un modelo matemático para proyectar las tendencias de crecimiento de la turbiedad promedio de agua sedimentada en base al registro de información la captura de agua en el punto de captación de la planta de San Miguel que tiene un valor de 10 litros/segundo. Con ello, se tiene el nivel de turbidez de agua sedimentada anual desde el 2020 hasta el 2034

- Adquisición del kit de monitoreo del indicador del servicio ecosistémico que consta de un kit de monitoreo.

## **1.2. El Proyecto de intervención en infraestructura para la recuperación del servicio ecosistémico de control de erosión de suelos**

Se tuvo previsto que el proyecto de inversión se ejecutará durante el período 2021- 2034 y ha consistido en lo siguiente: Mejorar la calidad de vida de la población que se encuentra en la localidad de San Miguel y en el centro poblado “Tres Ríos”, en cual tiene como propósito Recuperar el servicio ecosistémico de control de erosión de suelos de la microcuenca del Tres Ríos para abastecer de mejor calidad de agua a la población de la localidad de San Miguel, así como beneficiar en la provisión sostenible de recursos naturales aprovechables por la población del centro poblado Tres Ríos.

Dentro de los componentes se precisan: Recuperación de la vegetación: el cual se ha previsto reforestación con especies nativas de 8.03 ha. Suficientes prácticas de adaptación: dos áreas de terrazas de formación lenta y dos zonas de construcción de zanjas de infiltración que representan un área de 12.35 ha y 12.47 ha respectivamente. Adecuadas capacidades para la gestión de la conservación: capacidades al personal operativo mediante dos talleres y un kit de monitoreo para medir el impacto del indicador de servicio ecosistémico y finalmente Adecuadas capacidades del manejo de las actividades económicas: que consiste en brindar capacidades y asistencia técnica a los integrantes de la microcuenca Tres Ríos mediante seis talleres en manejo y promoción de productos de la biodiversidad.

El proyecto de inversión planificó la ejecución de la presente investigación en el marco de la unidad productora del mismo proyecto, microcuenca “Tres Ríos”. De esta manera mediante la presente investigación se realizó la evaluación económica del proyecto de inversión, cuyos resultados se presentan en las secciones siguientes. Asimismo, se ha empleado la técnica de análisis costo-eficacia como metodología para la evaluación social del proyecto de inversión en el marco del Sistema Nacional de Programación Multianual y Gestión de Inversiones

Siendo necesario el uso de la mejor técnica de evaluación social, para fines de evaluación de las intervenciones del Proyecto, el presente estudio emerge como un elemento esencial para



comprender y gestionar las implicaciones del proyecto de inversión en recuperación del servicio ecosistémico de control de erosión de suelos en términos de bienestar hacia la sociedad. Por lo tanto, en el transcurso de este trabajo de investigación, se ha profundizado en los conceptos teóricos y metodológicos necesarios para llevar a cabo una evaluación social exhaustiva y equitativa de los proyectos de inversión en infraestructura natural, como es la metodología costo-eficacia, aplicado al proyecto de inversión en recuperación del servicio ecosistémico de control de erosión de suelos en la microcuenca “Tres Ríos”, según lo establecido en los instrumentos metodológicos de inversión pública del Sistema Nacional de Programación Multianual y Gestión de Inversiones.

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo general**

Evaluar económicamente las intervenciones en infraestructura natural para la recuperación del servicio ecosistémico de control de erosión de suelos en la microcuenca “Tres Ríos” de la Región de Cajamarca del año 2021, para la población de la ciudad de San Miguel, Cajamarca, con la finalidad de determinar si las intervenciones en infraestructura natural generan rentabilidad positiva para la sociedad.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

- i. Estimar la proyección de la oferta y demanda del servicio ecosistémico de control de erosión de suelos de la microcuenca “Tres Ríos” de San Miguel, región de Cajamarca, con la finalidad de determinar la brecha de producción de las intervenciones en infraestructura natural sobre el servicio ecosistémico mencionado.
- ii. Analizar los resultados de la aplicación de la metodología costo-eficacia en las intervenciones en infraestructura natural, en relación a la recuperación del servicio ecosistémico de control de erosión de suelos, a fin de evaluar la rentabilidad social para la población de la ciudad de San Miguel, Cajamarca.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

#### 2.1 Teoría de proyectos públicos

##### *Fundamentos económicos de la evaluación social de proyectos*

Las sociedades se encuentran ante el desafío de otorgar de manera efectiva recursos limitados para diversos propósitos, con el objetivo de suplir las demandas de la población y lograr el mayor nivel posible de bienestar colectivo. En este contexto, el Estado, actuando en representación de la sociedad en general, dispone de herramientas que permiten analizar esta asignación de recursos. Una de estas herramientas es la evaluación de proyectos, la cual presenta la ventaja de proporcionar información a los responsables de tomar decisiones, al comparar las preferencias de la sociedad y fomentar el avance económico.

Según lo expuesto por Contreras (2004), se establece que el Estado tiene la responsabilidad de garantizar la disponibilidad de determinados bienes y servicios de carácter público. Además, es esencial someter al análisis la utilización de recursos públicos con el fin de evaluar su eficacia en términos de beneficios para la sociedad. En consecuencia, el proceso de evaluación de proyectos se sustenta en la teoría económica del bienestar, en la cual un grupo de individuos busca maximizar su satisfacción basándose en sus preferencias. En este contexto, el Estado asume la función de optimizar este valor. Asimismo, también señala que el Estado asume la tarea de aumentar la suma total de satisfacciones individuales y persigue mejorar la "situación económica" a través de un proyecto de naturaleza pública. En esta concepción, el autor define la "situación económica" como los niveles de consumo de bienes y servicios públicos por parte de la sociedad en su conjunto. Además, Arrow (1950) plantea que la elaboración de una función que represente el bienestar social resulta ser una tarea complicada. Sin embargo, la función clásica de bienestar utilitarista puede sentar los cimientos, desde una perspectiva teórica, para la formulación de análisis de proyectos.

Pearce & Nash (1981), en base a los conceptos de economía del bienestar clásica y la relación con los proyectos públicos, mencionan que el bienestar social tiene como punto de partida las funciones de utilidad ( $U_i$ ) independientes de la sociedad. Cabe mencionar que el bienestar

social ( $W$ ) la suma de las funciones utilidades de los individuos ( $m$ ) y cuyo cambios producen una variación en el bienestar social. Es a este concepto en el cual se denominan como la función de bienestar utilitarista clásica.

$$W = U_1 + U_2 + \dots + U_m \quad (1)$$

Pearce y Nash (1981) explican que la satisfacción experimentada por un individuo, expresada a través de su función de utilidad, está vinculada al consumo de diversos bienes y servicios, incluso aquellos que se aplican en el ámbito de los bienes y servicios públicos.

$$U_i = U(x_1, \dots, x_n) \quad (2)$$

Así pues, dado que la utilidad se relaciona con la cantidad de consumo de bienes y servicios públicos, los efectos de un proyecto de carácter público pueden manifestarse a través de modificaciones en el bienestar, a medida que se produzcan alteraciones en la satisfacción individual.

$$dW = \sum_{i=1}^n \frac{\partial W}{\partial U_i} * dU_i$$

$$\int_{W_{sin\ proyecto}}^{W_{con\ proyecto}} dW = \sum_{i=1}^n \int_{U_i^{sin\ proyecto}}^{U_i^{con\ proyecto}} \frac{\partial W}{\partial U_i} * dU_i$$

$$\Delta W = \sum_{i=1}^n \frac{\partial W}{\partial U_i} \Delta U_i$$

Según las reflexiones de Contreras (2004), después de examinar los Sistemas Nacionales de Inversión Pública en América Latina, es evidente que la mayoría de estos sistemas se orientan hacia la Eficiencia, en contraste con los enfoques Distributivo y de Atención a Necesidades Básicas Insatisfechas. Esta preferencia por la Eficiencia surge debido a su consideración como una herramienta útil para evaluar el crecimiento económico de los países, mientras que el enfoque en las Necesidades básicas insatisfechas se utiliza para justificar la ejecución de políticas y proyectos públicos.

En resumen, de lo anteriormente expuesto, el marco de evaluación social de proyectos se fundamenta en la generación de la máxima utilidad para la sociedad, lo que conlleva a la implementación de proyectos públicos con el fin de lograr sus metas. Este enfoque se centra en la eficiencia y tiene como propósito el estímulo del crecimiento económico. En este contexto, el concepto de bienestar social, que se acepta en el Sistema Nacional de Programación Multianual y Gestión de Inversiones (Dirección General de Programación Multianual de Inversiones, 2019), es de naturaleza normativa. Su interpretación establece que el propósito de la infraestructura pública es fomentar el crecimiento económico del país y distribuir equitativamente los beneficios sociales de los proyectos, contribuyendo así a una mejor distribución de los ingresos.

### ***Análisis del Mercado del Servicio***

El examen del mercado, que involucra el análisis de la oferta y la demanda de bienes y/o servicios, posibilita la identificación del vacío del proyecto al considerar la capacidad de producción óptima que se estima a partir del diagnóstico de la Unidad Productora (UP), con el fin de atender la demanda de los bienes y/o servicios durante el periodo de evaluación. Para llevar a cabo la estimación y proyección de la demanda, es esencial basarse en la siguiente información:

- El alcance geográfico influido por el proyecto.
- Las variables que explican el comportamiento de la población que busca el servicio y de la demanda, obtenidas del análisis de la población afectada (a partir de aquí, la población potencial demandante).

Ejemplificando, en el caso de un proyecto que brinda acceso a servicios de telecomunicaciones en áreas rurales, las variables que detallan la demanda engloban: los patrones de consumo en relación con los servicios de voz y datos, el número de pobladores en cada localidad, el tipo de consumo entre aquellos que demandan a nivel institucional, la disponibilidad de suministro eléctrico, la disposición a pagar, entre otros aspectos relevantes (Dirección General de Programación Multianual de Inversiones, 2019).

### ***Análisis de la Demanda del Servicio***

La demanda se define como la necesidad de bienes o servicios por parte de los habitantes que buscan estos recursos en un período específico, evaluada en términos de cantidad y calidad.

Para calcular la demanda, es esencial contar con los siguientes conocimientos:

- a) El bien o servicio que se ofrecerá durante la fase operativa y su unidad de medición.
- b) La población que potencialmente busca este servicio, así como los factores que explican la demanda o la falta de demanda de los bienes o servicios.
- c) Las proporciones de uso o la intensidad con que se emplea el servicio.
- d) La disposición a pagar, cuando se trate de proyectos que requieran algún tipo de pago (como tarifas, tasas, peajes, etc.). Los métodos de recopilación e instrumentos de cálculo pueden variar e incluir encuestas, técnicas estadísticas (como modelos de regresión económica), costos de servicios alternativos, entre otros (Dirección General de Programación Multianual de Inversiones, 2019).

La visión sin la influencia del proyecto se relaciona con el estado "sin proyecto", mientras que cuando las circunstancias se modifican debido a las medidas llevadas a cabo en el proyecto, nos encontramos en el escenario "con proyecto". En esta sección, se proporcionan directrices para analizar la demanda en ambas situaciones.

Para calcular la demanda, resulta esencial contar con los datos reunidos durante la evaluación de la población impactada, los cuales se aplican ahora a los destinatarios principales (usuarios del servicio) del proyecto (Dirección General de Planificación Multianual de Inversiones, 2019).

### ***Análisis de la Brecha Oferta – Demanda***

La discrepancia entre la demanda y la disponibilidad se establece mediante la comparación entre la demanda estimada con el proyecto y la oferta óptima calculada en el diagnóstico realizado por la Unidad Productora (UP). No obstante, en ciertos proyectos, no es suficiente examinar solo la oferta de la UP en estudio (como, por ejemplo, un colegio o posta médica);

es esencial también reconocer el suministro total conocido en el ámbito de influencia del proyecto.

Este análisis facilita la toma de decisiones, tal sea por motivos de eficiencia o debido a problemas como la sobresaturación o el colapso del servicio. Una de las decisiones posibles es la redistribución de la demanda hacia unidades de proyecto que cuenten con capacidad disponible (Dirección General de Programación Multianual de Inversiones, 2019).

## **2.2 El mercado**

Se trata de un sistema en el cual se distribuyen unidades de bienes y servicios a cambio de una remuneración monetaria. Constituye un procedimiento de ajuste entre las preferencias y restricciones de los actores, lo que culmina en la asignación de recursos (Labandeira et al., 2007).

El desenlace alcanzado en un mercado competitivo suele considerarse óptimo desde la perspectiva de Pareto. Este resultado se verifica cuando es imposible mejorar el bienestar de una persona sin deteriorar la situación de otra (Varian, 2009). Este concepto se fundamenta en los dos teoremas de la economía del bienestar:

- El Primer teorema del bienestar establece que, en una economía competitiva, el equilibrio de mercado constituye un óptimo en el sentido de Pareto.
- El segundo teorema del bienestar establece que, en una economía competitiva, el mecanismo del mercado puede lograr cualquier óptimo en el sentido de Pareto, sin importar cuál sea la asignación inicial de recursos.

En la realidad, es factible que se presenten asignaciones que resulten en una situación socialmente más favorable que la inicial. Esto se debe a que dichas asignaciones pueden conducir a un nivel de bienestar superior en comparación con otras circunstancias. Kaldor y Hicks proponen que, si los beneficios que obtienen ciertos individuos superan las pérdidas de otros, y además existe la opción de que los ganadores compensen a los perdedores y continúen obteniendo beneficios, entonces se prefiere esta situación en comparación con la otra evaluada (Runar et al., 2016).

### ***Fallas en el mercado***

Este sistema de mercado competitivo que eficientemente distribuye los recursos económicos no es constantemente cumplido en todos los escenarios; además, presenta fallas por cuatro motivos fundamentales: el poder de mercado, la falta de información completa, las externalidades y los bienes públicos (Pindyck & Rubinfeld, 2010). Estos fallos del mercado dan lugar a una asignación no eficiente de los recursos en términos de Pareto.

### ***Externalidades***

Las externalidades surgen cuando las acciones de uno o más participantes económicos (productores o consumidores) afectan el bienestar de terceros (modificando su función de producción o utilidad), sin que estos hayan tomado la decisión de provocar dicho cambio y sin la existencia previa de un precio o compensación por esta alteración (Azqueta et al., 2007). Las externalidades podrían identificarse como positivas o negativas: las primeras se manifiestan cuando las acciones de ciertos agentes contribuyen al aumento del bienestar de otros, mientras que las segundas generan un impacto opuesto.

### ***Bienes públicos***

Pueden ser clasificados en categorías de bienes públicos o privados dependiendo de su grado de exclusión y rivalidad, siendo los extremos considerados como tipos puros (Runar et al., 2016). En el caso de los bienes públicos puros, el consumo de estos no puede ser restringido para ninguna persona y su disponibilidad no decrece para otros (Labandeira et al., 2007). Cuando estos cambian, abordan niveles que se extienden desde lo público hasta lo privado. Los bienes que son rivales en su consumo, pero no pueden excluirse con frecuencia son llamados bienes comunes o bienes públicos impuros (Runar et al., 2016).

### ***Tragedia de los bienes comunes***

Se refiere a cuando los individuos, motivados por su deseo de incrementar constantemente su utilidad, consumen un bien de manera indiscriminada, sin considerar las potenciales consecuencias para el recurso. Esto puede llevar a su agotamiento o degradación de tales

recursos. Cabe mencionar que la llamada “tragedia de los comunes” se refiere en realidad a los recursos de libre acceso.

Según Hardin (1968), los actores racionales, es decir, suelen identificar ciertos criterios útiles. Ello proviene desde dos fundamentos principales: uno positivo y otro negativo (Smith & Pinedo, 2002). El primero tiene que ver con el consumo desde una unidad en adición del recurso, esto es, que una persona aumenta sus beneficios, así se acerca a la utilidad. El segundo, consiste en establecer el costo de las cuestiones que derivan desde la sobreexplotación, asimismo se reparte en proporciones iguales y la utilidad negativa del recurso llega a consumir lo razonable desde la utilidad (Hardin, 1968; Smith & Pinedo, 2002).

Para Elinor Ostrom (1986), experta en ciencia política, el dilema conocido como la "tragedia de los comunes," propuesto por Hardin (1968), podría prevenirse mediante la implementación de estructuras organizativas comunitarias o la gestión autónoma por parte de los usuarios del recurso compartido. Para lograr esto, es necesario que exista un conjunto específico de características tanto en los recursos como en los usuarios, con el fin de aumentar la posibilidad de que los miembros de la comunidad puedan autorregularse (Smith & Pinedo, 2002).

La noción de la "tragedia de los bienes comunes" aborda una situación en la que los recursos de propiedad comunal o compartida tienden a ser excesivamente explotados o agotados debido a la carencia de propiedad privada y la falta de estímulos para su preservación. Este concepto fue promovido por el biólogo Garrett Hardin en su artículo de 1968 titulado "The Tragedy of the Commons" (La tragedia de los comunes).

En su artículo, Hardin ejemplifica la idea de la tragedia de los bienes comunes mediante una situación imaginaria que involucra pastizales compartidos utilizados por pastores. En este contexto, cada pastor posee motivaciones para incrementar su rebaño, debido a que los beneficios resultantes son de naturaleza privada; sin embargo, los costos derivados de la sobreexplotación del pasto se reparten entre todos los pastores. Esta dinámica puede dar lugar a la deterioración y el agotamiento del pasto, ocasionando a largo plazo perjuicios para todos los involucrados.

La tragedia de los bienes comunes subraya una deficiencia en los mecanismos de mercado que emerge cuando no existe una propiedad privada o derechos de propiedad claramente definidos



en relación con un recurso. Como consecuencia, carecen los incentivos para restringir el consumo y la explotación de ese recurso. Esta problemática puede manifestarse en diversos contextos, desde la explotación excesiva de la pesca en los océanos hasta la degradación ambiental en áreas públicas. La solución propuesta por Hardin para prevenir esta tragedia implica la intervención reguladora gubernamental, el establecimiento de propiedad privada o la formación de instituciones que gestionen y supervisen el uso de los recursos utilizados de manera sostenible.

### **2.3. Comportamiento del servicio ecosistémico de control de erosión de suelo**

#### ***Conceptualización Servicio ecosistémico***

De acuerdo con las perspectivas de Krutilla y Fisher (1976) así como Kneese y Bower (1979), se reconoce la importancia y unicidad de los recursos naturales en relación con la producción y el desarrollo económico de las sociedades. Por lo tanto, al incorporar la función de producción o el modelo de crecimiento de una economía convencional, se introduce la variable de recursos naturales ( $M$ ), dando lugar a la siguiente formulación:

$$Y = f(K, L, M) \quad (3)$$

En esta ecuación,  $Y$  representa la suma total de bienes y servicios manufacturados en una economía, mientras que  $K$ ,  $L$  y  $M$  denotan las sumas totales de capital, trabajo y recursos naturales disponibles en dicha economía, respectivamente.

Según la observación de Brown et al. (2006), los procesos inherentes a los ecosistemas guardan semejanza con una función de producción. En consecuencia, es viable considerar a los procesos ecosistémicos como funciones intrínsecas de producción o transformación.

$$E_j = r(N/H) \quad (4)$$

La ecuación muestra que  $E$  representa la producción del servicio ecosistémico, mientras que  $r(\cdot)$  designa la función de producción o transformación natural, y  $N$  es el símbolo que denota el capital natural.  $H$  señala los procesos inherentes a los ecosistemas, que a menudo sufren daños debido a intervenciones humanas, resaltando que dichos procesos no requieren participación humana directa, sino más bien cuidado y protección para operar de manera

óptima.

Brown et al. (2006) también subrayan que un ecosistema en un estado saludable proporciona de manera intrínseca una corriente de servicios ecosistémicos. En el contexto de una cuenca hidrográfica, esta corriente se origina a partir del capital natural (el ecosistema) que abarca elementos como las precipitaciones, el relieve, los suelos, los acuíferos y la biomasa (flora y fauna). En esta situación, la función  $r(\cdot)$  hace referencia a los procesos ecológicos e hidrológicos que dan lugar a un flujo natural de caudal en los ríos de la cuenca.

$$\text{Flujo natural del caudal} = r(\text{PP, suelos, acuíferos, biomasa}) \quad (5)$$

De igual manera, señalan que los productos y servicios generados por un actor económico provienen de la amalgama del servicio ecosistémico, la labor y el capital, todo dentro de un marco de teoría económica.

$$Q = q(K, L, SE) \quad (6)$$

En esta ecuación,  $Q$  denota un producto o servicio que es fabricado por un agente económico, ya sea individuo, empresa o gobierno.  $q(\cdot)$  describe un proceso de producción, mientras que  $SE$  refiere a los servicios ecosistémicos necesarios para generar dicho producto o servicio.  $K$  representa el capital y  $L$  representa el nivel de empleo requerido. De este modo, se ilustra que cada uno de los componentes de la producción ( $K$ ,  $L$  y  $SE$ ) son los resultados de sus respectivas funciones internas de producción.

### ***Concepto de valor de bienes y servicios ecosistémicos***

En palabras de Brown et al. (2006), se resalta que los servicios ecosistémicos, junto con otros elementos de producción, tienen un valor fundamental para el desarrollo sostenible de la sociedad. En consecuencia, estos componentes de producción son incorporados en la función de utilidad de los individuos y, en última instancia, de la sociedad.

$$U = u[E^1, Q(K, L, E^2)] \quad (7)$$

En la ecuación,  $E^1$  hace referencia a los servicios ecosistémicos que contribuyen a la función de utilidad sin necesitar de ningún otro recurso adicional, mientras que  $E^2$  representa una serie de servicios ecosistémicos que dependen de otros recursos (como componentes de  $L$  y  $K$ ) para alcanzar el nivel deseado de consumo.

Además, se destaca que el valor económico puede desempeñar un papel en el análisis de costo-beneficio o en el análisis de costo-eficiencia. En el análisis costo-beneficio, se efectúa una comparación entre los beneficios de una política o proyecto y los costos asociados a su implementación. Por otro lado, en el análisis costo-eficiencia, se evalúa la decisión de aumentar la provisión de servicios ecosistémicos a través de una política o proyecto, siendo fundamental entender si las alternativas seleccionadas son las más eficientes en cuestiones de costos.

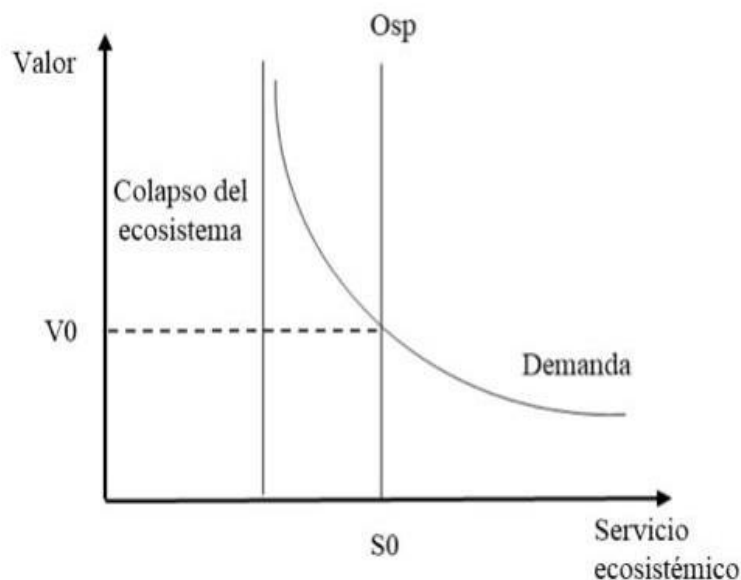
Salzman (2005) sugiere que las elecciones concernientes a la conservación o degradación de los ecosistemas se cimientan en los intereses individuales, y la capacidad de los tomadores de decisiones para valorar si es necesario implementar una política o proyecto, considerando los beneficios que la sociedad obtendría.

En este contexto, la representación gráfica de la curva de demanda del servicio ecosistémico se fundamenta en la disposición marginal a pagar por parte de la población. El valor económico para un individuo se convierte en la suma máxima que estaría dispuesto a pagar para asegurar dichos beneficios. Esto significa que, si el servicio ecosistémico está ampliamente disponible, la disposición a pagar marginal tiende a ser modesta; en contraste, si la disponibilidad disminuye, aumenta la disposición a pagar (Pearce, 2007).

Con respecto a la curva de oferta del servicio ecosistémico, se afirma que es marcadamente inelástica. En otras palabras, si se intensifica la protección del ecosistema, habrá un incremento correspondiente en la cantidad del servicio ecosistémico disponible, lo cual a su vez conlleva un aumento proporcional en los costos de protección (Fisher et al., 2008).

## Figura 1

### Curvas de oferta y demanda del servicio ecosistémico



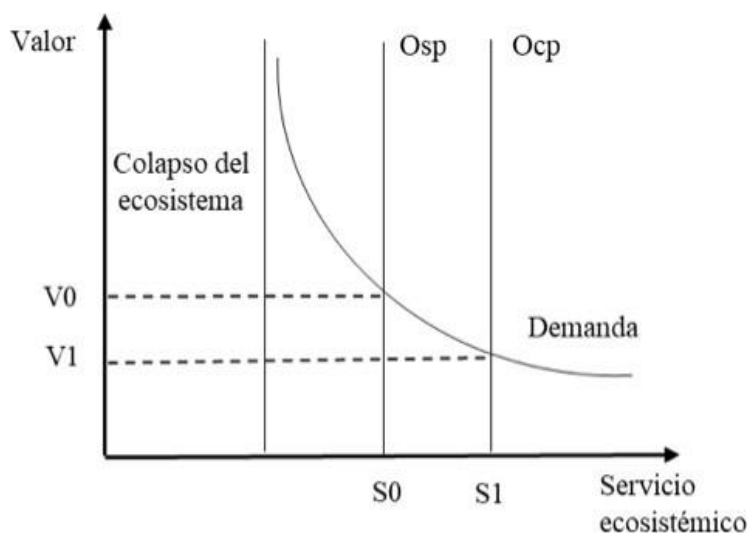
*Nota.* El gráfico representa el desplazamiento de la curva de oferta del servicio ecosistémico. Tomado de *Umbral de costo-eficacia en la inversión pública de recuperación del servicio ecosistémico de regulación hídrica en ecosistemas andinos*, por Bernuy, 2021.

En este sentido, los servicios ecosistémicos están experimentando impactos debido al aumento de la actividad humana, lo que se traduce en una reducción en su disponibilidad. Este declive podría tener efectos sustanciales en el bienestar de la población, especialmente en las zonas rurales, donde existe una alta dependencia de los ecosistemas para la supervivencia y el desarrollo de sus actividades. Este fenómeno conduce a un desplazamiento hacia la izquierda de la curva de oferta, como se representa en la Figura 1.

La conexión entre los actores que contribuyen a la degradación de los ecosistemas y aquellos que dependen de sus servicios es limitada o casi inexistente. En respuesta a esta situación, el Estado interviene a través de proyectos de inversión pública bajo el Invierte Perú (Invierte.pe). El objetivo central de estas iniciativas es restaurar y conservar la capacidad de producción de los servicios ecosistémicos que han sufrido afectaciones.

## Figura 2

### Recuperación de un servicio ecosistémico



*Nota.* El gráfico representa el desplazamiento de la curva de oferta hacia el “estado de la economía” con el proyecto de inversión implementado. Tomado de *Umbral de costo-eficacia en la inversión pública de recuperación del servicio ecosistémico de regulación hídrica en ecosistemas andinos*, por M. Bernuy, 2021.

La Figura 2 ilustra cómo la concepción y la realización de un proyecto público orientado a la recuperación de un servicio ecosistémico prioritario conlleva a un desplazamiento de la curva de oferta hacia la dirección derecha, hacia el "estado de la economía" con el proyecto implementado. Este proceso resulta en la recuperación del servicio ecosistémico que previamente se había perdido.

## 2.4 Evaluación de intervenciones en Infraestructura Natural

### *Técnicas de evaluación de Proyectos Ambientales*

Según lo indicado por Montgomery et al. (1994), los proyectos destinados a la conservación o recuperación de la naturaleza buscan aumentar las poblaciones de especies, hábitats o servicios ecosistémicos. Aunque los estudios de valoración económica ofrecen información valiosa para quienes toman decisiones, no establecen el nivel óptimo en términos sociales para la naturaleza. Una opción alternativa implica evaluar los efectos del proyecto mediante medidas biológicas, físicas o biofísicas.

Cullen et al. (2005) sugieren que en situaciones en las que los tomadores de decisiones eligen acciones más económicas para alcanzar objetivos de conservación o restauración ambiental, las propuestas que evalúan diversos impactos podrían ser cruciales. Los estudios de disposición a pagar pueden tener limitaciones en la toma de decisiones al no abarcar todos los parámetros de los efectos, lo que subraya la necesidad de emplear otras metodologías de evaluación.

Según Busch y Cullen (2009), muchos proyectos financiados con el propósito de preservar y promover poblaciones de especies, hábitats o servicios ecosistémicos deben demostrar la utilidad de sus esfuerzos en términos de conservación biológica, utilizando el enfoque de costo-efectividad

Austin et al. (2015) y Laycock et al. (2009, 2011, 2013) emplean los costos relacionados con las medidas de gestión en la conservación, junto con sus resultados en términos de especies, hábitats y servicios ecosistémicos, para realizar una evaluación crítica de la eficiencia o costo-efectividad de los programas de conservación analizados. Esto se logra sin la necesidad de calcular la disposición a pagar de cada individuo.

Cullen et al. (2012) apuntan que los procedimientos para medir la eficacia económica de proyectos relacionados con la conservación de especies, hábitats o servicios ecosistémicos, a menudo se enfrentan a la carencia de datos disponibles o a la dificultad de asignar valor monetario a los beneficios. Esto conduce a la exploración de otras técnicas de evaluación; entre ellas, el análisis de costo-eficiencia es la metodología más comúnmente utilizada, mientras que el análisis de costo-beneficio es menos frecuente. A medida que se han introducido mejoras e innovaciones en estos enfoques, han surgido otras metodologías, como la Evaluación de Reducción de Amenazas (TRA), los Años de Protección de la Producción de Conservación (COPY) y el Análisis de Costo-Utilidad (CUA).

El Análisis Costo-Eficiencia elemental es especialmente adecuado cuando un proyecto de conservación puede medir el aumento en unidades por cada acción realizada a través de diversas aproximaciones de gestión y cuenta con detalles precisos sobre los costos involucrados. Sin embargo, no es capaz de evaluar el incremento de unidades por eficiencia (Laycock et al., 2009).

En relación con la Evaluación de Reducción de Amenazas (TRA), se mide el éxito de un proyecto de conservación al cuantificar la cantidad de unidades deseables de medidas reducidas debido a la disminución de amenazas antes y después de la implementación del proyecto (Salafsky y Margoluis, 1999). Sin embargo, esta métrica no es aplicable ya que no cumple con los criterios mínimos establecidos por el Ministerio de Economía y Finanzas. Los Años de Protección de la Producción de Conservación (COPY) constituyen una medida ponderada del progreso o aumento de especies, hábitats o servicios ecosistémicos a lo largo del tiempo. Conocida como Evaluación de Reducción de Amenazas (COPY), esta permite comparar dicha estimación entre varios proyectos de conservación para determinar su eficacia relativa (Cullen et al., 1999, 2001, 2005; Hughey et al., 2003; y Laycock et al., 2011). No obstante, en este contexto específico, esta metodología no puede ser aplicada debido a que la ponderación de prioridades en acciones o inversiones no resulta adecuada para evaluar la eficiencia de la inversión pública en Perú. Cabe precisar que la metodología de indicador COPY utiliza ponderación (pesos) con variables ambientales para determinar el valor de un indicador, sin embargo, una de sus debilidades es el valor de las ponderaciones, dado que las asignaciones son subjetivas y puede generar ciertas orientaciones sobre el valor del resultado.

El Análisis Costo-Utilidad (CUA) emerge como una alternativa significativa en sustitución del análisis costo-beneficio. Aunque su uso es predominante entre los economistas de la salud para evaluar mejoras en la salud en relación con la inversión monetaria, este enfoque también incorpora técnicas estadísticas más avanzadas, como regresiones univariadas o multivariadas con muestreo repetido. Cabe destacar que este método ha encontrado aplicación en la evaluación de proyectos de conservación en naciones de Europa y Asia (Laycock et al., 2011). Es esencial señalar que el concepto del Análisis Costo-Utilidad se ajusta de manera precisa a las metodologías establecidas por la entidad reguladora de la inversión pública en Perú.

Cullen et al. (1999) manifiesta que las cualidades que hacen al Análisis Costo-Utilidad atractivo para los evaluadores en el ámbito de la atención médica tienen igual importancia para aquellos que evalúan cuestiones de conservación. Además, estos autores introdujeron el indicador de Años de Protección de la Producción de Conservación (COPY) como una herramienta para valorar los resultados generados por diversos proyectos de conservación. Es interesante señalar que COPY cumple una función similar a los "Años de vida ajustados por Calidad" (QALY) en la evaluación de la atención médica, ya que permite comparar la eficiencia entre diferentes actividades.

Cullen et al. (2005) argumenta que COPY brinda una valiosa evaluación de los éxitos de un proyecto, aunque admite que no constituye la única medida de éxito razonable para proyectos de conservación. En cambio, sugiere calcular la variación entre la calificación del estado de una especie, hábitat o servicio ecosistémico "con proyecto" y su calificación de estado "sin proyecto" al final del período de estudio. En este contexto, proponen una fórmula innovadora denominada "Ganancia<sub>i</sub>" (Ganancia con proyecto) para ilustrar el impacto de la situación con la implementación del proyecto.

$$Ganancia_i = Sif_w - Sif_{w/o} \quad (8)$$

En este escenario,  $Sif_w$  representa el nivel de conservación de la especie, hábitat o servicio ecosistémico ( $i$ ) en el año ( $f$ ) bajo la influencia de la gestión o el proyecto ( $w$ ), mientras que  $Sif_{w/o}$  indica el nivel de conservación de la misma entidad ( $i$ ) en el año ( $f$ ) sin la implementación de la gestión o el proyecto ( $w/o$ ).

Por consiguiente, la relación entre los costos y la utilidad (beneficio) del proyecto puede ser evaluada dividiendo el valor presente de los costos de inversión y gestión asociados tanto con como sin el proyecto de conservación, dando lugar al cociente conocido como Ratio Costo-Utilidad (RCU)

$$Ratio \text{ costo} - Utilidad = \frac{\sum_0^t \frac{C_w - C_{w/o}}{(1+d)^t}}{Ganancia_i} \quad (9)$$

En este contexto,  $C_w$  denota los costos anticipados asociados al proyecto de conservación, mientras que  $C_{w/o}$  representa los costos esperados en ausencia de dicho proyecto.  $d$  representa la tasa de descuento que se aplica a los proyectos de conservación, y  $t$  se refiere al período durante el cual se evalúa el proyecto de conservación.

En relación con esto, el índice *Ratio Costo-Utilidad* guarda una similitud notoria con los conceptos de costo-eficiencia, costo-eficacia o costo-efectividad (CE) en el contexto de las inversiones públicas dentro del marco de Invierte.pe. En esta misma línea, el índice *Ratio*



*Costo – Utilidad* se utiliza como un modelo teórico para evaluar las inversiones públicas en servicios ecosistémicos, aunque en términos normativos, se le denomina ratio costo-eficiencia (CE) en coherencia con las prácticas en las evaluaciones de proyectos de conservación.

Por otra parte, Zicus et al. (2009) emplearon el enfoque del Índice de Costo-Utilidad (índice de eficiencia en costos) para derivar un margen de confianza relativo al índice de eficiencia en costos, con el fin de calcular el número anticipado de aves acuáticas en relación con los gastos previstos por cada extensión de humedal restaurado en los Estados Unidos. Este estudio realizó modificaciones menores en la formulación del Índice de Costo-Utilidad para abordar las cuestiones de incertidumbre.

$$\frac{CyMw - CyMw/o}{Ew - Ew/o} < \lambda \quad (10)$$

En este contexto,  $CyMw$  denota los costos de inversión y mantenimiento, actualizados en términos de valor, asociados a la situación con el proyecto, mientras que  $CyMw/o$  hace referencia a los costos de inversión y mantenimiento, actualizados en términos de valor, vinculados a la situación sin el proyecto.  $Ew$  representa el estado de conservación de la especie, hábitat o servicio ecosistémico en presencia del proyecto, y  $Ew/o$  denota el estado de conservación de la misma entidad en ausencia del proyecto. El parámetro  $\lambda$  encarna el umbral que define la Ratio Costo-Utilidad o eficiencia en costos.

### ***Elementos metodológicos en la evaluación económica***

En el ámbito de la evaluación económica, se requiere contemplar cinco aspectos metodológicos fundamentales: la perspectiva y el contexto, el horizonte temporal, la tasa de descuento, el modelamiento matemático y la incertidumbre vinculada a las decisiones (Espinoza, 2017).

#### **a. Perspectiva y Contexto**

En esta línea, la perspectiva define a quién se destina la evaluación para la toma de decisiones (Espinoza 2017). Ejemplos incluyen el Estado (a nivel local, regional o central), terceros como organizaciones cooperativas, o incluso la sociedad que asume la responsabilidad, como en los esquemas de Participación Social en Ecosistemas Hídricos (PSEH)

#### **b. Horizonte Temporal**

El horizonte temporal es un elemento financiero empleado para valorar la moneda a lo largo del tiempo y, en específico, calcular el valor presente de flujos futuros de capital.

Esto permite "traducir" el valor monetario actual de la moneda que será entregada o recibida en un momento posterior

### **c. Tasa de Descuento**

En proyectos ambientales, Vásquez (2010) analiza la tasa de descuento aplicada en distintos proyectos de conservación de reservas marinas. Estos análisis se centran en servicios como la pesca y la recreación, como el buceo, ofrecidos por áreas de conservación. Aunque también se ha avanzado en la evaluación de los beneficios anuales, no se ha logrado obtener una medida global de esos beneficios al proyectar los flujos futuros y descontarlos a una cierta tasa (Roncin et al. 2008, citado por Vásquez, 2010).

Organismos internacionales como el Banco Mundial y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) respaldan esta metodología en sus manuales. China, México y Perú son ejemplos de naciones que han adoptado este enfoque, logrando tasas de crecimiento del 8%, 10% y 9%, respectivamente. En este último periodo, el avance en el conocimiento y la aplicación de la economía experimental y del comportamiento para discernir las preferencias individuales, además del análisis de la equidad intergeneracional de los impactos de la inversión pública, se ha desafiado las convenciones en la estimación de la Tasa de Descuento Social (Castillo & Zhangallimbay, 2021).

### **d. Modelamiento Matemático**

Este concepto abarca una serie de enfoques que posibilitan la estimación y valoración de beneficios y costos derivados de la implementación de medidas o proyectos. En el análisis costo-beneficio, tanto los costos como los beneficios se cuantifican en términos monetarios. En cambio, en el análisis costo-efectividad, los costos se expresan en términos monetarios mientras que los beneficios se miden en unidades de bienestar, como mejora en la salud (como la esperanza de vida), volumen de agua, retención de carbono, entre otros (Boyd Wainger 2003; Espinoza 2017; Rubio 2017).

En el marco de un Análisis Costo-Beneficio, resulta crucial tener en cuenta la temporalidad de los beneficios y costos, transformando dichos valores al presente para obtener un indicador único (Rubio 2017). Así, el procedimiento implica: a) la elaboración de un flujo de ingresos y gastos; b) la conversión de los resultados al valor presente mediante la aplicación de una tasa de descuento (que refleja el valor temporal del dinero). Además, se aconseja examinar la distribución de los costos y beneficios en la sociedad, ya que no es suficiente con que los beneficios superen a los costos. Por ende, este análisis adicional facilita la identificación de cómo se distribuyen entre diversos grupos de interés o actores involucrados (Rubio, 2017).

#### **e. Incertidumbre**

En el ámbito de la evaluación económica, surgen múltiples fuentes de incertidumbre, inherentes a las proyecciones de beneficios y costos. De acuerdo con Espinoza (2017), esta incertidumbre se divide en dos categorías: la incertidumbre de primer orden, relacionada con la falta de conocimiento sobre los fenómenos estudiados (individuos, ecosistemas y sus procesos); y la incertidumbre de segundo orden, surgida de la imprecisión en las estimaciones de los parámetros que alimentan los modelos de toma de decisiones, como probabilidades de eventos, cálculos de costos, utilidades, etc. Este perfil de incertidumbre se explora exhaustivamente en estudios de sensibilidad. Por lo tanto, resulta esencial llevar a cabo una evaluación del impacto en la viabilidad del proyecto (en términos de Valor Presente Neto) ante cambios en las variables más influyentes (Belli et al. 1998).

El propósito de realizar un análisis de sensibilidad es validar la solidez de los resultados obtenidos en la evaluación. En otras palabras, busca detectar las oscilaciones en la viabilidad social de un proyecto debido a modificaciones en las variables que afectan los costos y beneficios considerados en el proyecto. Generalmente, este proceso se inicia al identificar las variables más sujetas a incertidumbre, se definen los rangos de cambio de las variables críticas y, en última instancia, se profundiza en el análisis de estas últimas (Dirección General de Programación Multianual de Inversiones, 2019).

### *Análisis costo-beneficio (ACB), costo-efectividad (ACE) y costo-utilidad (ACU)*

La finalidad del Análisis Costo-beneficio es proveer información sobre las ganancias o pérdidas respecto a la implementación de una política o iniciativas de proyectos. En base al enfoque económico se precisa como un indicador de eficiencia. Según Rubio (2017), los proyectos de inversión cuyos beneficios superan a los costos de inversión representan una mayor y óptima satisfacción del bienestar de la sociedad y/o entorno. Lo que se gana o pierde con la implementación de una política, proyecto y/o iniciativa. Cabe mencionar que una de las barreras para implementar un análisis costo-beneficio es la obtención de valores monetarios certeros y confiables de efectos o beneficios de suma importancia e identificación de cambios posteriores (PAHO,1995).

El Análisis de Costo-Efectividad (ACE) constituye un método empleado para contrastar el rendimiento de distintos proyectos y enfoques de adaptación que persiguen un mismo objetivo de adaptación. Esta herramienta ofrece la capacidad de generar clasificaciones, establecer prioridades o identificar la combinación óptima de opciones que logran una reducción de costos junto con beneficios más notables. La principal virtud del ACE radica en que no demanda la evaluación económica de los beneficios. Esto adquiere especial relevancia en el ámbito de la adaptación, donde en ocasiones resulta desafiante asignar valores monetarios a los beneficios.

De manera similar al Análisis Costo-Beneficio (ACB), el Análisis de Costo-Efectividad (ACE) no trata de manera explícita la incertidumbre, ya que su enfoque se basa en curvas de costos que suponen una estabilidad climática. No obstante, es factible emplear escenarios y análisis de sensibilidad para contemplar de manera más precisa el potencial de distintos impactos futuros del cambio climático. Otro inconveniente del ACE radica en la necesidad de seleccionar una métrica única al momento de comparar opciones. Dicha elección puede resultar compleja en la toma de decisiones sobre adaptación debido a la amplia diversidad de impactos que resultan del cambio climático.

El ACE demuestra su utilidad en la evaluación a corto plazo, especialmente para identificar alternativas con bajo o nulo arrepentimiento en áreas donde resulta complicado asignar valores monetarios. Su aplicabilidad es mayor cuando existe un indicador claro y cuando la incertidumbre climática es reducida. Además, se considera beneficioso llevar a cabo este

análisis de manera iterativa para discernir lecciones aprendidas y sinergias, en lugar de emplear los resultados únicamente como una técnica de priorización.

### *Costo Eficacia de los servicios ecosistémicos (CE)*

Boerema et al. (2017) sugieren que el concepto de servicio ecosistémico, como los beneficios económicos, sociales y ambientales que las personas perciben del buen funcionamiento de los ecosistemas, ha demostrado su utilidad al permitir la evaluación de diversas funciones de los ecosistemas al vincular aspectos ecológicos y socioeconómicos.

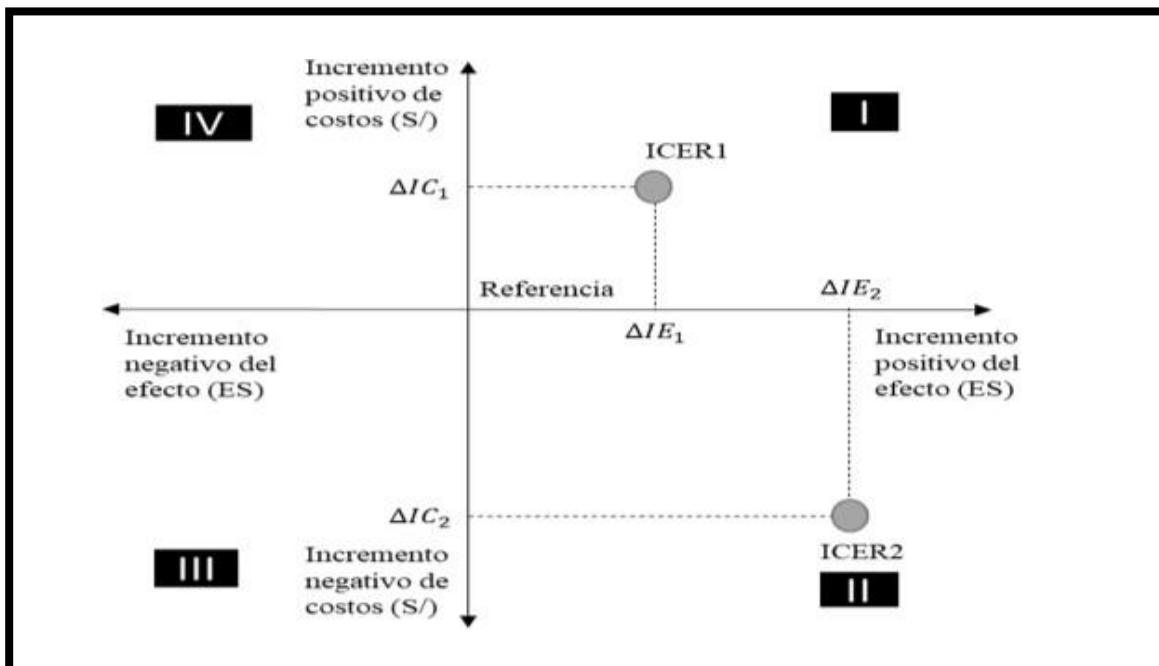
Según Boerema et al. (2016), el análisis costo-beneficio es un método ampliamente utilizado para la evaluación de proyectos, incluyendo aquellos relacionados con servicios ecosistémicos. No obstante, señalan que aplicar este enfoque requiere la cuantificación monetaria de todos los beneficios, lo cual es un tema de discusión dado el uso de distintas técnicas para su valoración. Como alternativa, Balana et al. (2011) respaldan el análisis costo-eficiencia como una opción para la evaluación económica de proyectos. Este enfoque permite la comparación directa entre los costos de inversión y mantenimiento con los efectos del proyecto, expresados en diversas unidades de medida. Sin embargo, los autores señalan que su principal limitación radica en la integración de múltiples efectos en una única medida de evaluación, ya que solo se considera el efecto principal.

Asimismo, Interwies et al. (2004) subrayan la importancia en la gestión de problemas ambientales. Argumentan que junto con las restricciones presupuestarias, la búsqueda de la estrategia más rentable para abordar estos problemas es crucial. Aplicar un análisis de costo-eficiencia permite identificar la solución óptima y rentable para resolver problemas ambientales.

En línea con esto, Boerema et al. (2018) enfatizan la necesidad de comprender y cuantificar en su totalidad el impacto de las medidas de gestión en el sistema ecológico y socioeconómico interconectado. Destacan la complejidad de seleccionar la estrategia de gestión más eficaz para múltiples objetivos, dado que los beneficios no pueden ser agregados directamente debido a sus diferentes unidades de medida. Además, señalan que el enfoque de ratio de costo-eficiencia o eficacia (ICER) implica la comparación de proyectos con una medida de referencia en un espacio de costo-eficiencia, considerando tanto el costo como el efecto asociado (Boerema et al., 2018).

**Figura 3**

*Plano en cuadrantes del ratio costo eficiencia/eficacia*



*Nota.* El gráfico representa los escenarios en relación a costos y efectos de los servicios ecosistémicos. Tomado de *Umbral de costo-eficacia en la inversión pública de recuperación del servicio ecosistémico de regulación hídrica en ecosistemas andinos*, por M. Bernuy, 2021.

La Figura 3 ilustra cuatro opciones de comparación, en las cuales un proyecto puede presentar diferentes escenarios en relación a los costos y los efectos en los servicios ecosistémicos (SE) en comparación con una medida de referencia. Estas opciones son las siguientes:

Cuadrante I: El proyecto tiene costos mayores y un efecto mayor en SE en comparación con la medida de referencia.

Cuadrante II: El proyecto tiene costos menores y un efecto mayor en SE.

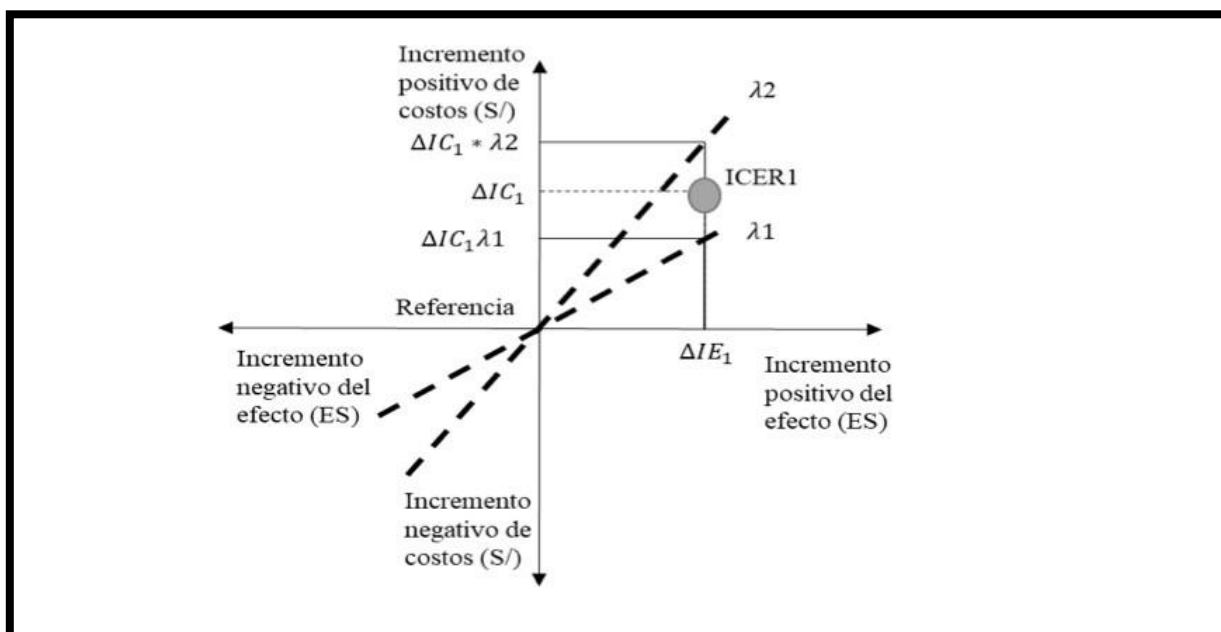
Cuadrante III: El proyecto tiene costos menores y un efecto menor en SE

Cuadrante IV: El proyecto tiene costos mayores y un efecto menor en SE

En consecuencia, se concluye que hay proyectos que son preferibles a la medida de referencia, como se observa en el Cuadrante II. También existen proyectos que no son preferibles en comparación con la referencia, como se ve en el Cuadrante IV. Además, hay proyectos para los cuales no está claro si son preferibles a la referencia, como se evidencia en los Cuadrantes III y I (ICER1).

#### Figura 4

Relación entre el indicador CE y una línea de disposición a pagar



*Nota.* El gráfico representa la relación entre el indicador CE y la disposición a pagar. Tomado de *Umbral de costo-eficacia en la inversión pública de recuperación del servicio ecosistémico de regulación hídrica en ecosistemas andinos* (p.20), por M. Bernuy, 2021.

Según Boerema et al. (2018), en situaciones en las que no sea posible alcanzar una decisión definitiva en el Cuadrante I, se sugiere establecer una relación de costo-beneficio para comparar la ganancia neta de las alternativas, incluso si dichos beneficios no están expresados en términos monetarios.

En la Figura 4, se puede observar que un valor monetario menor ( $\lambda_1$ ) o mayor ( $\lambda_2$ ) por unidad de servicio ecosistémico (SE) resultará en un valor incremental mayor o menor del efecto, reflejado en términos monetarios. El análisis de ICER1 se considera más favorable que la referencia cuando se sitúa entre los valores de  $\lambda_2$  y  $\lambda_1$ . Es importante destacar que este enfoque tiene la ventaja de evitar la necesidad de estimar en términos monetarios los beneficios de la recuperación del servicio ecosistémico. En su lugar, al encontrar los costos y el efecto del proyecto dentro de un umbral o intervalo de confianza aceptable por la entidad, se logra determinar si el proyecto es socialmente rentable.

### ***Normatividad en inversiones públicas***

El Ministerio de Economía y Finanzas (2016), en su rol como autoridad directriz de las inversiones públicas en el Perú, establece el Sistema Nacional de Programación Multianual y Gestión de Inversiones, conocido también como Invierte Perú. Este sistema administrativo estatal tiene como objetivo principal orientar el aprovechamiento de los recursos estatales destinados a inversiones públicas para el suministro de bienes y servicios de carácter público.

A través del Decreto Supremo N° 284-2018-EF, se ratifica el reglamento del Invierte Perú en el cual se establece que los distintos sectores tienen la capacidad de aprobar metodologías específicas para la formulación y evaluación de "proyectos de inversión" y "fichas técnicas" dentro de sus respectivas áreas de competencia sectorial. Además, estas metodologías deben mantener coherencia con los enfoques metodológicos generales de inversión que son validados por el Ministerio de Economía y Finanzas.

Dentro de la "Guía General para la Identificación, Formulación y Evaluación de Proyectos de Inversión", se establece que las inversiones tienen la posibilidad de ser evaluadas mediante enfoques de evaluación como el costo-beneficio o el costo-eficiencia, así como también el costo-eficacia o el costo-efectividad. En estas metodologías, los flujos netos se traen al presente utilizando la tasa social de descuento establecida por el sector competente o la entidad directriz, según la Dirección General de Programación Multianual de Inversiones del Ministerio de Economía y Finanzas (2019).

En esta misma Guía, se emplean los enfoques de evaluación conocidos como costo-eficiencia, costo-eficacia o costo-efectividad, abreviado como CE, cuando no es factible estimar los beneficios sociales del proyecto en términos monetarios. Esta utilización tiene como objetivo medir la relación entre la inversión de recursos públicos y los efectos generados por el proyecto de carácter público. Es importante destacar que el uso de la evaluación basada en la costo-eficiencia brinda la capacidad de medir la relación entre el resultado obtenido en la unidad productora como consecuencia de la intervención y los costos asociados. En paralelo, la evaluación a través del costo-eficacia proporciona la oportunidad de medir la conexión entre el logro del objetivo de la inversión y los costos incurridos. Por otro lado, la evaluación basada en la costo-efectividad se orienta a medir la conexión entre el logro de la finalidad de la inversión y los costos asociados.



Siguiendo esta línea de razonamiento, el indicador clave que refleja la rentabilidad social en la metodología de evaluación de los enfoques de costo-eficiencia se conoce como ratio de costo-eficiencia/eficacia (ratio CE). Esta ratio representa la relación entre el valor actual del costo social incremental (VACS) y la variación en el indicador de costo-eficiencia en la situación con el proyecto en comparación con la situación sin el proyecto.

$$CE = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{CST_{CP} - CST_{SP}}{(1+TSD)^t}}{\sum_{t=0}^n (IE_{cp} - IE_{sp})} \quad (11)$$

En este contexto, donde  $CST_{cp}$  representa el costo social incremental entre la situación con y sin el proyecto,  $n$  representa el periodo de evaluación del proyecto,  $TSD$  refleja la tasa social de descuento utilizada en la inversión, y  $IE_{cp} - IE_{sp}$  denota el cambio incremental en los efectos entre la situación con y sin el proyecto.

Es esencial destacar que aplicar metodologías de evaluación basadas en los indicadores costo-eficiencia, costo-eficacia o costo-efectividad requiere que el sector pertinente establezca un umbral o “el punto de corte” para el índice de CE. Este umbral implica que si un proyecto público presenta un índice de costo-eficiencia menor o igual al límite definido por el sector correspondiente, entonces ese proyecto público se considera socialmente rentable.

Al respecto, el indicador de eficiencia de sedimentos desempeña un papel crucial en la evaluación social del proyecto de inversión en recuperación del servicio ecosistémico de control de erosión de suelos en la microcuenca de los "Tres Ríos" dentro del marco del Sistema Nacional de Programación Multianual y Gestión de Inversiones (Invierte.pe). Este indicador se utiliza para medir la capacidad del proyecto para mitigar los efectos negativos de la erosión y la sedimentación en la zona. Dado que la sedimentación excesiva en los ríos puede afectar negativamente a la calidad del agua, la navegabilidad y la infraestructura asociada, es fundamental evaluar cómo el proyecto contribuirá a la reducción de estos impactos ambientales. El indicador de eficiencia de sedimentos permite cuantificar la cantidad de sedimentos que se retendrán o eliminarán mediante las medidas propuestas en el proyecto, como la construcción de represas, la reforestación de cuencas y la gestión de aguas pluviales. Esto ayuda a determinar el valor social del proyecto al evaluar su capacidad para preservar y mejorar la calidad del agua, así como la sostenibilidad a largo plazo de la inversión

Además, el indicador de eficiencia de sedimentos también tiene implicaciones económicas importantes en la evaluación social del proyecto. La sedimentación excesiva puede aumentar los costos operativos y de mantenimiento de infraestructuras como presas, canales de riego y plantas de tratamiento de agua. Al reducir la sedimentación y sus consecuencias negativas, el proyecto puede generar ahorros económicos significativos a lo largo de su vida útil. En este sentido, el indicador de eficacia de sedimentos desempeña un papel esencial en la evaluación social del proyecto "Tres Ríos", ya que permite medir tanto los beneficios ambientales como los económicos que el proyecto aportará a la sociedad en el marco del Invierte.pe.

### **III. DESARROLLO DEL TRABAJO**

#### **3.1 Ámbito de estudio**

La información relacionada al ámbito de estudio, se basa principalmente en el documento “Diagnóstico del ámbito de la subcuenca El Carrasco para la formulación del proyecto de inversión en recuperación del servicio ecosistémico de control de erosión de suelos”, realizado por el Ministerio del Ambiente durante el año 2020.

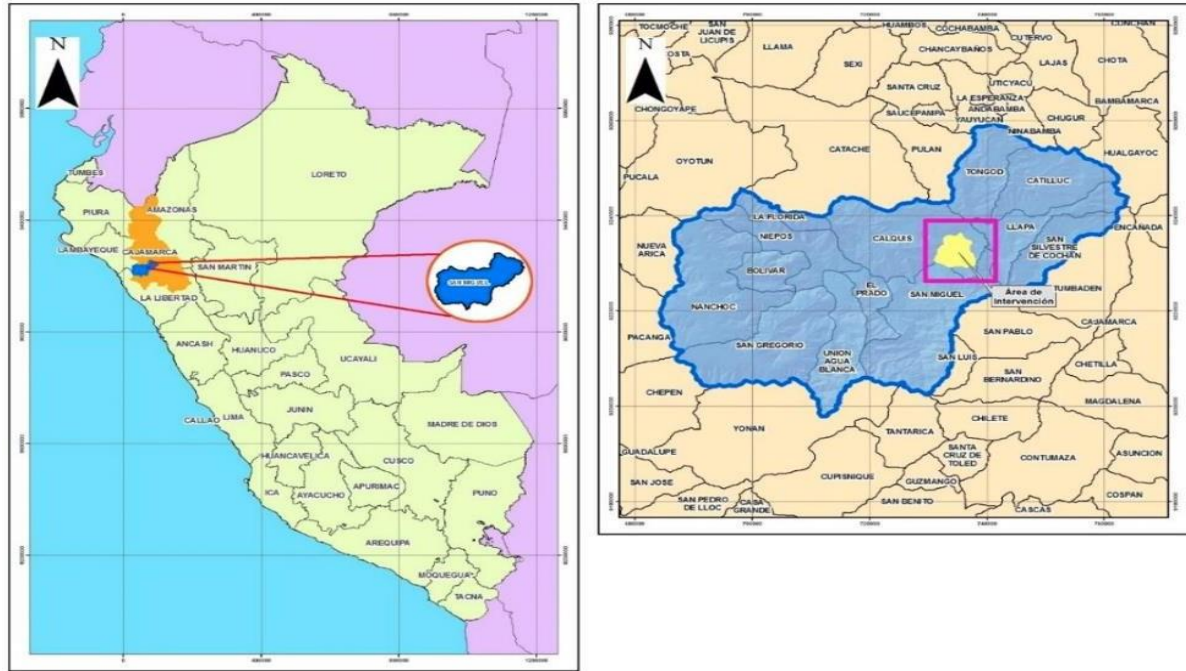
#### **Ubicación geográfica de San Miguel**

De acuerdo con la Figura 5, la provincia de San Miguel está situada al Suroeste del departamento de Cajamarca, en la Sierra Norte del país. Limita al Norte con la provincia de Santa Cruz, al Sur con la provincia de Contumazá, al Este con las provincias de Hualgayoc y San Pablo, y al Oeste con la Provincia de Chepen, perteneciente a la Región La Libertad. Su topografía es notablemente accidentada y compleja, comprendiendo cuatro cuencas hidrográficas y caracterizada por la presencia de la Cordillera Occidental de Los Andes, lo que genera desniveles de más de 3,500 m.s.n.m. entre las áreas bajas y altas, siendo las elevaciones más notables de la provincia, y de 500 m.s.n.m. en el distrito de Nanchoc. Esto da lugar a un territorio donde predominan las pendientes y las zonas escabrosas.

La provincia en mención tiene una extensión de 134,971 ha, ubicada altitudinalmente a 2,618 m.s.n.m. La actividad agrícola es la más importante, y entre ellas destaca la de “pan llevar” (papa, maíz, trigo, arveja, habas, leche, carne, lana, etc.). La ganadería generalmente está ubicada en las áreas de pastos naturales, basada únicamente en la fertilidad natural de las tierras, en las lluvias y el clima (Ministerio del Ambiente, 2020).

**Figura 5**

*Mapa de ubicación geográfica de la provincia de San Miguel*



*Nota.* El gráfico representa la ubicación geográfica de la provincia de San Miguel. Tomado del “*Estudio Tarifario Empresa prestadora de servicios de saneamiento de Cajamarca Sociedad Anónima, SEDACAJ*”, por SUNASS, 2019.

Para describir y analizar las características más relevantes del territorio que permita contextualizar la situación actual del servicio ecosistémico y el grado de afectación negativo a la población dependiente, es necesario dimensionar el área de estudio, el cual comprende tres ámbitos a analizar:

La primera, es la zona donde se encuentra la población afectada por la disminución en la producción del servicio ecosistémico de control de erosión de suelo que provee de calidad de agua al punto de captación de la Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento de Cajamarca (SEDACAJ) de la subcuenca del río El Carrasco.

La segunda, es el área donde se encuentra la Unidad Productora (UP) y donde se

implementarán las acciones establecidas por el proyecto, que en este caso es la parte del territorio designado para intervenir y recuperar los ecosistemas proveedores del servicio ecosistémico de control de erosión de suelo para la población afectada.

La tercera, son las áreas donde se encuentran las otras Unidades Productoras que brindan el mismo servicio ecosistémico de control de erosión de suelos para la población afectada en la ciudad de San Miguel y la cuenca de aporte de la subcuenca del río El Carrasco que se delimita desde el punto de captación de la EPS SEDACAJ hacia arriba de la subcuenca.

**Tabla 1**

*Localización política del área de estudio*

<b>REGIÓN</b>	<b>PROVINCIA</b>	<b>DISTRITO</b>	<b>CÓDIGO UBIGEO</b>	<b>CUENCA</b>	<b>ÁREA DE ESTUDIO</b>
Cajamarca	San Miguel	San Miguel	061001	Media alta	Área de influencia
		Calquis	061002	Media alta	Ubicación de las Unidades Productoras de la subcuenca El Carrasco y área de influencia

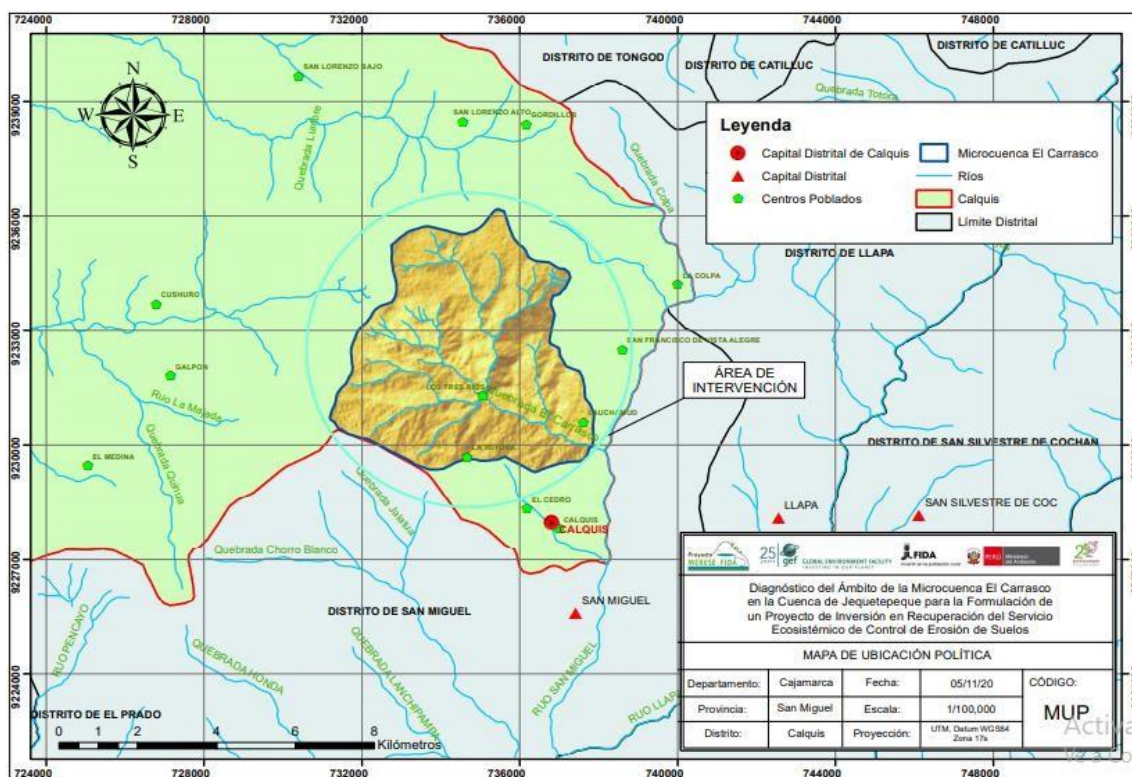
***Localización Política del estudio***

De acuerdo con la Tabla 1, la subcuenca del río El Carrasco está situada en el distrito de Calquis, provincia de San Miguel, en la Región Cajamarca. Con una extensión de 3081.00 hectáreas, forma parte de la Cuenca de Jequetepeque y, según la Autoridad Nacional del Agua (ANA), está integrada en la Región Hidrográfica del Pacífico, siendo parte de la Unidad Hidrográfica de nivel 2 con coordenadas centrales proyectadas UTM 735910 E, 9231980 N Zona 17. Este territorio abarca altitudes desde los 2770 hasta los 3960 m s.n.m.(Ministerio del Ambiente, 2020).

Según la información precisada por el Ministerio del Ambiente (2020), la subcuenca del río El Carrasco se encuentra en el distrito de Calquis, perteneciente a la provincia de San Miguel, en el departamento de Cajamarca. El mapa de ubicación política de la microcuenca muestra que esta está limitada al Sur por el distrito de San Miguel, al Este por el distrito de Llapa, y al Norte y Oeste por el distrito de Calquis.

**Figura 6**

*Mapa de ubicación política de la subcuenca del río El Carrasco, San Miguel*



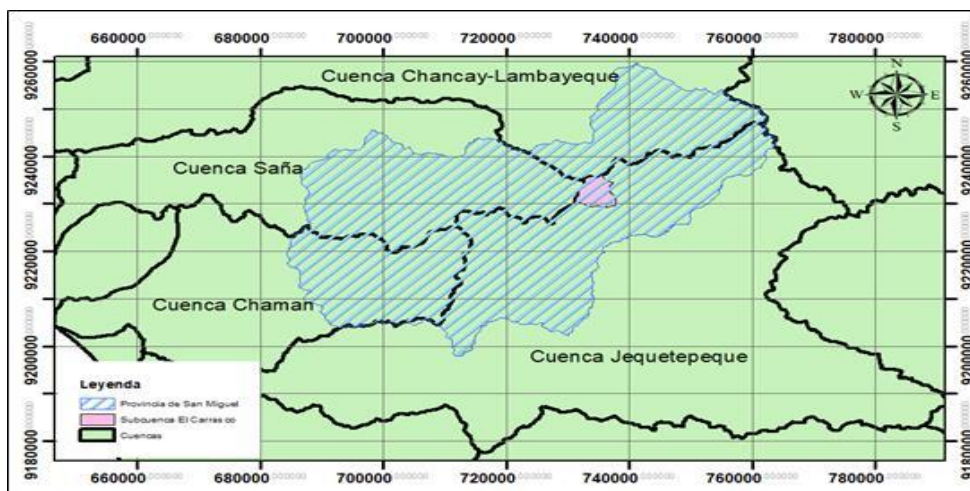
*Nota.* El gráfico representa la ubicación política de la subcuenca del río El Carrasco. Tomado de *Servicio especializado para la elaboración de un diagnóstico del ámbito de la subcuenca El Carrasco en la cuenca de Jequetepeque para la formulación de un proyecto de inversión en recuperación del servicio ecosistémico de control de erosión de suelos*, por MINAM, 2020.

### **Descripción de la cuenca**

El ámbito de estudio de la subcuenca del río El Carrasco, se encuentra en la cuenca del río San Miguel, el cual se encuentra dentro de la cuenca del río Jequetepeque. El cauce del río principal de la subcuenca del río El Carrasco, se recorre desde la parte noroeste hasta sureste, llegando a encontrarse con el río de San Miguel tal como se precisa en la Figura 6 y se menciona el mapa de ubicación hidrográfico dentro de la Figura 7.

## Figura 7

*Mapa de ubicación hidrográfica de la subcuenca del río El Carrasco, San Miguel*



*Nota.* El gráfico representa la ubicación hidrográfica de la subcuenca del río El Carrasco. Tomado de *Servicio especializado para la elaboración de un diagnóstico del ámbito de la subcuenca El Carrasco en la cuenca de Jequetepeque para la formulación de un proyecto de inversión en recuperación del servicio ecosistémico de control de erosión de suelos*, por MINAM, 2020.

### ***Características generales de la población beneficiaria***

En los Lineamientos para la formulación de proyectos de inversión de la tipología de ecosistemas, especies y apoyo al uso sostenible de la biodiversidad del MINAM, establece en la tipología de ecosistema con enfoque de servicio debe existir un demandante del servicio ecosistémico priorizado, el mismo se puede identificar desde un punto de captación de los demandantes del servicio. En tal sentido, los demandantes del proyecto serían los beneficiarios directos de este tipo de proyectos de inversión.

En el caso de los proyectos de inversión en recuperación del servicio ecosistémico de control de erosión de suelos; los beneficiarios directos del proyecto se están considerando a la población de la ciudad de San Miguel que recibe el servicio de saneamiento por parte la EPS de SEDACAJ, que determina un punto de captación para atender el servicio de agua potable para la mencionada población.

En el caso de los beneficiarios indirectos del proyecto, esta población se ubica en el Centro Poblado “Tres Ríos”, ubicado en la microcuenca de “Tres Ríos”, dentro de la subcuenca de

aporte del río El Carrasco, en el distrito de Calquis, debido que el proyecto de inversión también estaría generando beneficios a las poblaciones locales por realizar acciones de recuperación y conservación de los ecosistemas dentro de sus espacios. Aquí se han identificado, acorde con el trabajo de campo, dos zonas de intervención: “Tres Ríos” y Nuevo Progreso.

### ***Mapa de estado de conservación***

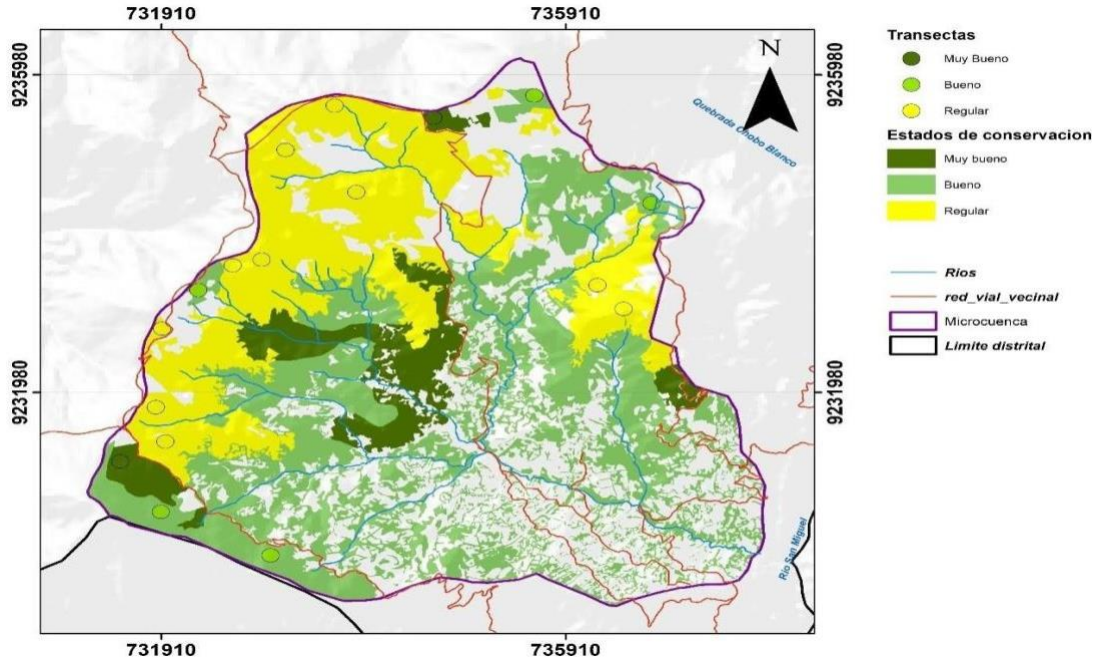
En esta sección, se proyectan los estados de conservación estimados mediante la métrica de puntuación y categorización para los ecosistemas de pajonales, tólares y bosques andinos. La imagen siguiente exhibe el mapa y el informe de estados de conservación de la subcuenca El Carrasco, y se aplica el estado de conservación identificado a los ecosistemas circundantes. Estos últimos, a su vez, se clasifican según la fisiografía local estimada, la cual se determina mediante el análisis rápido de cada parcela de evaluación, detallado en las fichas de descripción de sitios (Ministerio del Ambiente, 2020).

Dadas las características de la microcuenca, se concluye que los ecosistemas objeto de estudio se encuentran a una altitud superior a los 2700 m.s.n.m., siendo este el primer criterio de delimitación. El segundo criterio excluye de este análisis las áreas de roquedales, cuerpos de agua y suelo desnudo.



### Figura 8

Mapa de estado de conservación de pajonales, tólares y bosques andinos, matorrales y bofedales en la subcuenca del río El Carrasco, San Miguel.



Nota. El gráfico representa el estado de conservación de los ecosistemas en la subcuenca del río El Carrasco. Tomado de *Servicio especializado para la elaboración de un diagnóstico del ámbito de la subcuenca El Carrasco en la cuenca de Jequetepeque para la formulación de un proyecto de inversión en recuperación del servicio ecosistémico de control de erosión de suelos*, por MINAM, 2020.

La información que se aprecia en la Figura 8 resalta que, del área de la subcuenca El Carrasco (2031.04 ha), las áreas de pajonales y tólares abarcan 1,003.62 ha, de los cuales el 4.80% de estas áreas se consideran referenciales, 20.60% presentan un estado conservación Buena y el 74.61% un estado de conservación Regular (Ministerio del Ambiente, 2020)

**Tabla 2**

*Resumen de estado de conservación de la subcuenca del río “El Carrasco”, San Miguel*

Ecosistemas	Estados de conservación			Protección	Total (ha.)
	Muy bueno	Bueno	Regular		
Pajonal altimontano muy húmedo	11.50	161.97	548.96		<b>722.43</b>
Pajonal montano húmedo		31.35	199.82		<b>231.17</b>
Tólar altimontano muy húmedo	36.65	13.38			<b>50.03</b>
Bosque altimontano muy húmedo	9.96	63.03			<b>72.99</b>
Bosque montano húmedo	169.67	738.02			<b>907.69</b>
Bosque montano bajo húmedo		46.74			<b>46.74</b>
Plantación de pino				118.24	<b>118.24</b>
Pastos cultivados				216.32	<b>216.32</b>
Agricultura en ladera				703.43	<b>703.43</b>
Suelo desnudo				11.97	<b>11.97</b>
<b>TOTAL</b>	<b>227.78</b>	<b>1,054.48</b>	<b>748.78</b>	<b>1,049.96</b>	<b>3,081.00</b>
<b>%</b>	<b>11.22</b>	<b>51.92</b>	<b>36.87</b>		

*Nota.* Información sobre el estado de conservación de los ecosistemas. Adaptado de “*Servicio especializado para la elaboración de un diagnóstico del ámbito de la subcuenca El Carrasco en la cuenca de Jequetepeque para la formulación de un proyecto de inversión en recuperación del servicio ecosistémico de control de erosión de suelos*”, por MINAM, 2020.

Referido a la Tabla 2, Los bosques nativos abarcan 1,027.42 ha, de los cuales el 17.48 % de estas áreas se consideran referenciales, y el 82.52 % presentan un estado conservación Bueno.

### **Capacidad del ecosistema en erosión de suelo**

La erosión del suelo representa el desplazamiento de su capa superior, constituyendo una forma de degradación del suelo. Aunque un nivel moderado de erosión del suelo es un proceso natural en todo el planeta, las prácticas agrícolas pueden intensificar este fenómeno.

Este fenómeno impacta principalmente al sector agropecuario, llevando a una reducción de la superficie de tierras cultivables y pastizales naturales. Originado por prácticas inadecuadas, como el manejo intensivo del suelo, la falta de protección en laderas, el manejo deficiente del agua de riego y la expansión de áreas agrícolas hacia terrenos más empinados, esto provoca una mayor vulnerabilidad del suelo más allá de su capacidad de uso, generando suelos degradados.

La erosión excesiva (o acelerada) conlleva problemas tanto dentro como fuera de la zona afectada. En el sitio, se traduce en reducciones en la productividad agrícola y, en entornos naturales, colapsos ecológicos, derivados de la pérdida de las capas superiores del suelo ricas en nutrientes. En casos extremos, puede resultar en desertificación. Los impactos fuera del sitio incluyen la sedimentación de vías fluviales y la eutrofización de cuerpos de agua, junto con los daños asociados a los sedimentos en carreteras y viviendas. En el diagnóstico actual, la erosión del suelo ha sido abordada como el problema principal, y la meta es controlar la erosión de suelos que afecta la provisión de agua en la subcuenca El Carrasco.

El proceso del producto de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos requiere que todos sus factores tengan las mismas características espaciales, un proceso complejo debido a las distintas fuentes de datos, requerimiento de trabajo con información a diferentes escalas, por lo que se empleó el método de remuestreo, regrillado y reproyección de sus sistemas de coordenadas (Yali, 2018).

$$A = R * K * LS * C * P$$

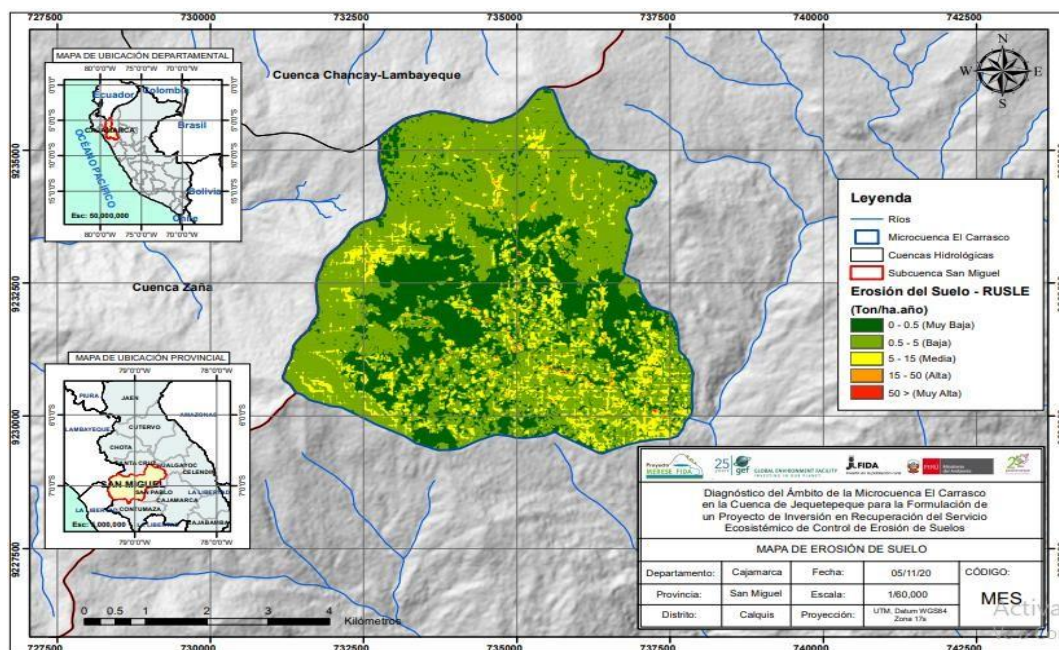
Los valores predominantes de erosión se sitúan en un rango de 0.5 a 15 TM/ha, clasificados como baja y media tendencia de erosión del suelo. Por otro lado, los valores categorizados como altos y muy altos se encuentran en las quebradas de los ríos, especialmente en las áreas media, inferior e inferior, derecha de la microcuenca de estudio. La mayor parte de las categorizadas como baja pertenecen a las áreas de matorrales de la microcuenca de estudio, mientras que las áreas categorizadas como media tendencia de erosión son las ubicadas en los campos o tierras de cultivo de la zona de la microcuenca (Ministerio del Ambiente, 2020).

En la Tabla 3 se calculan los valores de las áreas para cada categoría de erosión de la “Ecuación universal de pérdida de suelo revisada” (RUSLE), teniendo que la de Baja erosión tiene mayor cantidad de área que las otras siendo esta de 1489 ha, siguiéndole la de categoría muy baja la

cual representa el 1139 ha, luego la de categoría media representando esta 422 ha, y por último las de alta y muy alta siendo estas de 22 y 4 ha, respectivamente. Se determinó la Erosión total expresado en Toneladas al año, y se tuvo como resultado final que el área categorizada como media erosión genera la mayor cantidad de erosión en la subcuenca El Carrasco, teniendo como valor un total de 4 222 TM/año, siguiéndole la categoría de baja erosión con un valor de 4094 TM/año, la categoría alta de erosión con un valor de 715 TM/año, la categoría muy baja con el valor de 285 TM/año y por último la categoría muy alta con un valor de 275 TM/año. Por lo tanto, en base a la Figura 9, la cantidad de erosión que se genera en un año en la subcuenca “El Carrasco” es aproximadamente 9 536 Toneladas (Ministerio del Ambiente, 2020).

**Figura 9**

*Erosión hídrica del año 2020-método RUSLE (TM/Ha) , San Miguel*



*Nota.* El gráfico representa la erosión hídrica del años 2020 en San Miguel. Tomado de *Servicio especializado para la elaboración de un diagnóstico del ámbito de la subcuenca El Carrasco en la cuenca de Jequetepeque para la formulación de un proyecto de inversión en recuperación del servicio ecosistémico de control de erosión de suelos*, por MINAM,2020.

**Tabla 3**

*Cálculo de la erosión en TM/año en la microcuenca, año 2020*

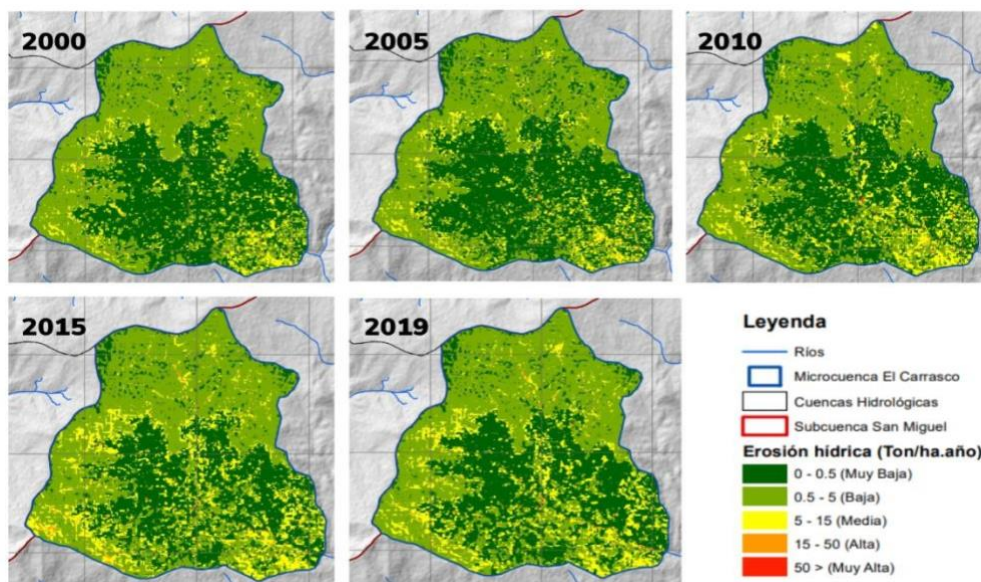
ÁREA (HA)	RUSLE (TM/HA.AÑO)	RUSLE_PRO M	EROSIÓN (TM/AÑO)
1139.11	0 - 0.5 (Muy Baja)	0.25	284.78
1488.61	0.5 - 5 (Baja)	2.75	4039.68
422.2	5 - 15 (Media)	10	4222.02
22	15 - 50 (Alta)	32.5	714.98
3.66	50 > (Muy Alta)	75	274.74
	<b>TOTAL</b>	<b>(TM/año)</b>	<b>9536</b>
	<b>TOTAL</b>	<b>(TM/ha. Año)</b>	<b>3.1</b>

*Nota.* Información relacionada al cálculo de la erosión. Adaptado del “*Servicio especializado para la elaboración de un diagnóstico del ámbito de la subcuenca El Carrasco en la cuenca de Jequetepeque para la formulación de un proyecto de inversión en recuperación del servicio ecosistémico de control de erosión de suelos*”, por MINAM, 2020.

En la Figura 10, se observa la distribución espacial y temporal de los valores de erosión del suelo desde el año 2000 al 2019, los valores de erosión del suelo expresados en toneladas por año se encuentran en el siguiente cuadro, siendo las más representativas las de clasificación baja y media. Asimismo, se calcula la erosión total del suelo en toda la microcuenca de estudio, dando como resultados valores escalonados siendo el año 2015 la más afectada de erosión, con valores de 9695.7 toneladas al año. La erosión total expresado en unidades de TMa. Año se tienen, en todos los años según la Tabla 4 y Tabla 5, valores comprendidos entre 2.4 a 3.15.

**Figura 10**

*Distribución espacial y temporal de la erosión del suelo en la subcuenca del río El Carrasco, San Miguel para los años 2000, 2005, 2010, 2015 y 2019*



*Nota.* El gráfico representa la distribución espacial y temporal de la erosión del suelo en la subcuenca del río El Carrasco. Tomado de *Servicio especializado para la elaboración de un diagnóstico del ámbito de la subcuenca El Carrasco en la cuenca de Jequetepeque para la formulación de un proyecto de inversión en recuperación del servicio ecosistémico de control de erosión de suelos*, por MINAM, 2020.

**Tabla 4**

*Valor de la erosión del suelo según su clasificación*

AÑO	2000	2005	2010	2015	2019
Muy Baja	337.31	342.97	298.05	255.48	280.44
Baja	3918.12	3888.66	4147.43	4381.6	4251.13
Media	2827	2567.46	3352.19	4183.79	3756.8
Alta	362.2	442.26	641.75	690.87	505.21

*Nota.* Información sobre el valor de la erosión del suelo según la clasificación . Adaptado del “*Servicio especializado para la elaboración de un diagnóstico del ámbito de la subcuenca El Carrasco en la cuenca de Jequetepeque para la formulación de un proyecto de inversión en recuperación del servicio ecosistémico de control de erosión de suelos*”, por MINAM, 2020.

**Tabla 5**

*Erosión total del suelo*

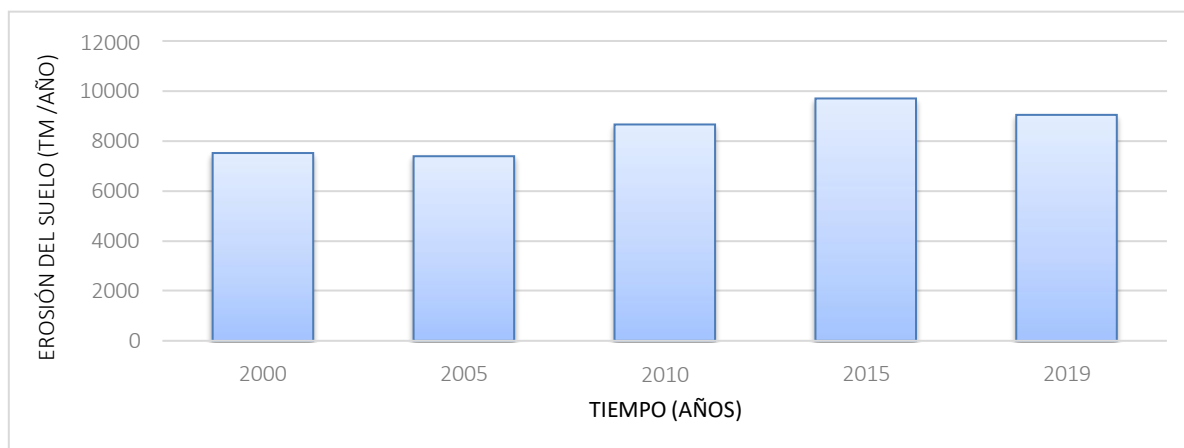
AÑO	2000	2005	2010	2015	2019
Toneladas/año	7515.6	7386.07	8656.53	9695.7	9043.58
Toneladas/ha. Año	2.44	2.40	2.81	3.15	2.94

*Nota.* Información relacionada a la erosión total del suelo de los años 2000, 2005, 2010, 2015 y 2019. Adaptado del “*Servicio especializado para la elaboración de un diagnóstico del ámbito de la subcuenca El Carrasco en la cuenca de Jequetepeque para la formulación de un proyecto de inversión en recuperación del servicio ecosistémico de control de erosión de suelos*”, por MINAM, 2020.

Dentro de la Figura 11, se observa los valores de Erosión del suelo versus tiempo. Los valores de erosión del suelo oscilan entre 7,000 a 10,000 toneladas por año, siendo el año 2015 con mayores valores de erosión, y el año 2005 con valores menores. Entre los años 2015 al 2019 existió una disminución de la erosión debido al incremento de cobertura de bosques nativos que se realizaron en la microcuenca, por lo que el valor de erosión tendió a bajar.

**Figura 11**

*Erosión del suelo vs tiempo*



*Nota.* El gráfico representa la relación entre la erosión del suelo y el tiempo. Adaptado del “*Servicio especializado para la elaboración de un diagnóstico del ámbito de la subcuenca El Carrasco en la cuenca de Jequetepeque para la formulación de un proyecto de inversión en recuperación del servicio ecosistémico de control de erosión de suelos*”, por MINAM, 2020.

Se cuenta con espacios con disminución sostenida de la densa vegetación y dispersa, como los humedales y cauces fluviales; efectivamente, las superficies naturales presentan una reducción

de la vegetación en un 49%, siendo los humedales las áreas que experimentan el mayor porcentaje de reducción respecto de su situación original, con un 78%. Según la información precisada en la Figura 11.

### **3.2 Naturaleza del estudio**

Dado que el objetivo del trabajo es: Evaluar económicamente las intervenciones en infraestructura natural para la recuperación del servicio ecosistémico de control de erosión de suelos en la microcuenca “Tres Ríos” de la Región de Cajamarca del año 2021, con la finalidad, finalmente, de determinar la rentabilidad social para la población de la ciudad de San Miguel, se ha empleado un diseño no-experimental desarrollado de manera transversal, siendo un estudio de tipo exploratorio-descriptivo-aplicativo, en el cual se analizaron los indicadores de desempeño e impacto de las inversiones públicas.

### **3.3. Diseño del estudio de evaluación**

Para el estudio, se ha desarrollado como poblaciones de ecosistemas de interés de la microcuenca “Tres Ríos”. Se identificó que la unidad productora (ecosistemas dentro de la microcuenca del río “Tres Ríos”) ha venido incrementando la producción de sedimentos en su cuenca de aporte, generando que se obtenga mayores niveles de NTU en el volumen de agua capturado por la EPS en la subcuenca del río El Carrasco, San Miguel. Cabe mencionar que la metodología se basa en las directrices de los Lineamientos para la Formulación de los Proyectos de Inversión, en cuanto a las Tipologías Ecosistemas, Especies y Apoyo al uso Sostenible de la (Resolución Ministerial N° 178-2019-MINAM), así como la guía ex-ante de la plataforma “Invierte.pe”.

La recolección de información se realizó a través de entrevistas a autoridades locales del distrito de San Miguel, representantes de las entidades involucradas. Para la elaboración del diagnóstico socioeconómico para la formulación del proyecto, se realizaron estudios técnicos de suelos, hidrológicos, topográficos, climático y vegetativo. los cuales se emplearon como insumos.

La presente monografía presenta un diseño “no experimental”. Cabe resaltar que es una investigación descriptiva de característica transversal. El presente estudio se realiza de manera



“relacional”; es decir, relacionan las variables de efectos y costos de los proyectos de inversión en servicios ecosistémicos de control de erosión de suelos, que influyen en las estimaciones, debido a que los datos son obtenidos de estudios técnicos que han sido realizados en campo, los cuales muestran el valor del servicio ecosistémico.

### **3.4 Procedimiento para el logro de los objetivos planteados**

Dado que se trata de una evaluación basada en información específica, técnica y financiera de los compromisos realizados, se constituye como un análisis de datos con validez interna. En este contexto, la información correspondiente se organizó, procesó y sistematizó para evaluar el cumplimiento de los objetivos.

#### ***Análisis del servicio ecosistémico de erosión de suelos desde una perspectiva de mercado***

La evaluación se llevó a cabo desde la perspectiva de los mercados del servicio ecosistémico de erosión de suelos producido en el área de la microcuenca "Tres Ríos".

#### ***Diagnóstico de la Unidad Productora (UP) del servicio ecosistémico de erosión de suelos***

Se elaboró un diagnóstico de la UP del servicio mediante una descripción y evaluación técnica de los factores de producción que la componen. Este punto se abordó a través de una esquematización descriptiva que representara los procesos, activos y recursos necesarios para la producción del servicio (Dirección General de Programación Multianual de Inversiones, 2019).

Para facilitar el diagnóstico de la UP, es esencial desglosar los factores de producción en los activos que intervienen en el proceso de producción del servicio (Dirección General de Programación Multianual de Inversiones, 2019). Los estudios del servicio ecosistémico de control de erosión de suelos, socioeconómico y ecosistémico serán insumos necesarios para desarrollar el diagnóstico.

#### ***Metodología del servicio ecosistémico de control de erosión de suelos***

Se identificó que la unidad productora (ecosistemas dentro de la microcuenca “Tres Ríos” ha venido incrementando la producción de sedimentos en su cuenca de aporte, generando que se obtenga mayores niveles de NTU en el volumen de agua capturado por la EPS en la subcuenca

del río El Carrasco.

Al respecto, el proyecto de inversión tuvo como objetivo la recuperación del servicio ecosistémico de control de erosión de suelos, cuyo indicador es el nivel de sedimentación evitado que generaría la Unidad Productora; para ello, se aplicó el método de la Ecuación universal de pérdida de suelo revisada (RUSLE) que permite identificar las áreas propensas a erosión hídrica, el cual es utilizado con sistemas de información geográfica. El método RUSLE estima la erosión de suelo dentro del cual se emplean factores de erosividad de la lluvia (R), factor de erosividad del suelo (K), factor de longitud de pendiente (LS), cubierta de suelo (C) y factores de prácticas de control de erosión de suelos. El índice de entrega de sedimentos de la cuenca vertiente y cálculo del aporte de sedimentos propuesto por Avendaño et al. 1994. Dicha metodología permite estimar el nivel de sedimentos evitados generados por una microcuenca en relación con las hectáreas de ecosistemas recuperados o conservados.

En relación al método RUSLE, se aplicó el siguiente modelo para calcular la erosión de la microcuenca “Tres ríos”:

$$A = R * K * LS * C * P$$

Donde:

A [TM/(ha\*año)]: Pérdida de suelo promedio por erosión en unidad de área

R [MJ mm / (ha\*h\*año)]: Factor de erosividad de la lluvia

K [TM\*h/(ha\*MJ\*mm)]: Factor de erodabilidad del suelo que representa la pérdida de suelo por unidad de índice de erosión para un suelo específico

LS (adimensional): Factor de longitud de pendiente que representa la pérdida de suelo del gradiente de longitud de pendiente

C (adimensional): Factor de cobertura vegetal que representa la proporción de pérdida de suelo de un área con algún tipo de cobertura o cultivo

P (adimensional): Factor de prácticas de control de erosión que representa la proporción de pérdida de suelo con una medida de protección a esta.

En relación a la producción de sedimentos, se procedió a usar el “índice de entrega de sedimentos de la cuenca vertiente” que trata de estimar la aportación de sedimentos al embalse

varía dependiendo del tamaño de la cuenca: a mayor tamaño, menor cantidad de sedimentos se deposita en el embalse, ya que cuanto mayor es la superficie, mayores son las zonas de sedimentación dentro de esta. Para determinar el “índice de entrega de sedimentos” (SDR), se ha aplicación la siguiente ecuación (Avendaño et al, 1994):

$$SDR = 36A^{-0.2} - \left(\frac{2}{\text{Log}P}\right) + \text{Log}BR$$

Donde:

SDR: porcentaje total de material movilizado en la cuenca que sale de la misma

A: superficie de la cuenca (km<sup>2</sup>)

P: pendiente del curso principal expresada

BR: coeficiente de bifurcación de la red hidrográfica

En el tema del “cálculo del aporte de sedimentos”, se tiene que entender que el aporte de sedimentos (AS) al embalse o punto final de la cuenca, es una proporción del total de sedimentos erosionados brutos en el área de fuente (TE), teniendo en cuenta el SDR, para ello se sigue la siguiente ecuación:

$$AS = SDR * TE$$

Donde:

SDR: porcentaje total de material movilizado en la cuenca que sale de la misma

TE: Volumen de sedimentos erosionados,

### ***Estimación del indicador de rentabilidad social***

#### ***Costo de inversión***

La estructura de costos del proyecto debe incluir dimensiones reales de los activos que se construirán o convertirán y sus costos unitarios. Debe informar el costo directo de cada actividad, que a su vez debe estar compuesto por factores de producción de servicios o componentes. Los costos generales incluyen gastos generales, ganancias e impuestos generales sobre las ventas (Dirección General de Programación Multianual de Inversiones, 2019).

### ***Costo de funcionamiento***

Estos costos representan la inversión requerida para reemplazar activos que han llegado al final de su vida útil durante el período de evaluación, o por obsolescencia tecnológica, y se requiere reemplazo para continuar el servicio de acuerdo con parámetros de calidad establecidos por la industria. Este tipo de costos no están incluidos en la estructura de costos de inversión durante la fase de implementación (Dirección General de Programación Multianual de Inversiones, 2019).

Los costos operativos son los costos incurridos para desarrollar las actividades necesarias para operar una PU al momento de brindar servicios. Estos costos incluyen salarios de empleados, materiales y consumibles, pagos de servicios básicos y alquileres.

Los costos de mantenimiento son costos incurridos para mantener o mantener la capacidad de producción de UP mediante el mantenimiento de activos como maquinaria, equipos e infraestructura (Dirección General de Programación Multianual de Inversiones, 2019).

Estos costes se determinan en dos situaciones, con y sin proyectos, según el tipo de intervención. En el primer caso el costo se determina cuando el proyecto logra el efecto esperado, en el segundo caso no se realiza la inversión. Una vez determinados los costos de estas dos situaciones a precios sociales, necesitamos calcular los costos adicionales para poder hacer una evaluación económica.

### ***Estimación de los costos a precios sociales***

Para estimar los costos sociales se debe utilizar un factor de corrección (FC), que es el valor numérico de los costos de materias primas y factores de producción, calculados a precio de mercado durante la ejecución y operación del proyecto de inversión (Dirección General de Programación Multianual de Inversiones, 2019). Los costos sociales estimados se calculan:

Costo de Precio Social = Costo de Precio de Mercado x FC

Emplean dos tipos de CF: CF de mano de obra y CF de bienes y servicios nacionales (no transables). Si bien existen también otros tipos, tales como: productos transables (importaciones y exportaciones), divisas y combustibles, éstos no fueron requeridos para la investigación.

Para determinar los costos sociales de los servicios y otros bienes nacionales, se debe excluir

el impuesto general sobre el ingreso general de ventas (IGV) correspondiente (Dirección General de Programación Multianual de Inversiones, 2019).

### ***Valor actual de los costos a precios sociales (VACS)***

Es la sumatoria de descontar los valores futuro de los costos de operación y mantenimiento por cada periodo de evaluación y los costos de inversión de las medidas de intervención para destinadas a la recuperación de los ecosistemas de la microcuenca “Tres Ríos”

$$VACS = \sum_{t=0}^n \frac{CST_t}{(1 + TSD)^t}$$

CST=Costos

TSD = Tasa social de descuento

n = Horizonte de evaluación (13 años)

t = Numero de periodo

### ***Indicador costo-eficacia (CE)***

Se ha empleado el indicador costo eficacia, que estará determinado por el valor actual de los costos del proyecto de inversión para la recuperación de los ecosistemas de la microcuenca “Tres Ríos” y el control de sedimentos, calculado por el método RUSLE

$$CE = \frac{VACS}{\sum IE} \quad (12)$$

Donde:

VACS = Valor actual de los costos a precios sociales (S/)

IE = Índice de eficacia (indicador de servicio ecosistémico de control de erosión de suelos)

TIR = Tasa interna de retorno social 8% según el Invierte.pe

N = Horizonte de evaluación (13 años)

El estimador de Costo- Eficacia será la sumatoria de la brecha oferta y demanda de los periodos de la fase de funcionamiento.

Para el logro de los objetivos planteados en esta investigación se dependerá de enfoque orientado en el presente estudio, el cual está determinado como cuantitativo no experimental, documental y transversal. Se ha precisado este enfoque debido a que interviene la observación

del suceso en una condición natural sin la injerencia del investigador.

Siguiendo los "Lineamientos para la formulación de proyectos de inversión pública en diversidad biológica y servicios ecosistémicos", se establecen condiciones para el diseño de proyectos de inversión relacionados con el servicio ecosistémico de regulación hídrica y erosión de suelos. De manera complementaria, se determinan criterios para realizar inversiones en activos estratégicos con el fin de recuperar el servicio ecosistémico.

En relación a esto, según Boerema et al. (2018), un análisis de costo-eficiencia comprende los siguientes pasos: En primer lugar, la recopilación de datos sobre el costo de las acciones o componentes; en segundo lugar, la cuantificación del efecto de cada acción o componente; de forma complementaria, llevar a cabo el cálculo del costo incremental de cada acción o componente; y finalmente, realizr el análisis costo-eficiencia

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Análisis del mercado de servicio ecosistémico de control de erosión de suelos

La aplicación del análisis oferta-demanda del servicio ecosistémico de control de erosión de suelo, con la población de la ciudad de San Miguel como demandante principal, se convierte en un enfoque crucial para comprender la relación entre la gestión de los recursos naturales y el bienestar de la comunidad. En este contexto, el indicador clave para evaluar la provisión y efectividad de este servicio ecosistémico es el sedimento, una medida directa de la erosión del suelo que impacta de manera significativa en la calidad del entorno urbano y rural.

#### *Análisis de la demanda del servicio ecosistémico de control de erosión de suelos*

El análisis de la demanda del servicio ecosistémico de control de erosión de suelos se realiza en base a una variable “*proxy*”, denominada “la turbiedad del agua”, que viene a ser un mal<sup>4</sup>, es decir, la demanda por ésta es cero, en términos de la captación de la EPS SEDACAJ. Esta información es recogida a través del Diagnostico Hidrológico Rápido de SEDACAJ (2019), donde se indica que “la turbidez del agua en la cuenca de aporte del río El Carrasco se incrementa en el periodo de lluvias (diciembre a marzo), es relativamente alta, debido a las actividades productivas humanas existentes cerca al río.

Con la nueva captación se provee que la turbidez del agua disminuya considerablemente; pero es importante tomar medidas de conservación y trabajar cercanamente con la población aledaña al cauce del río”. En ese sentido, se requiere dar una alta prioridad al servicio ecosistémico de control de erosión de suelos. Para ello, se toma en cuenta la data mensual disponible durante los años 2019 y 2020 referidas al nivel de turbiedad. En base a dicha información se estima la tendencia para realizar la proyección en el horizonte del Proyecto. En el siguiente gráfico se puede apreciar dicho ejercicio.

Se obtuvieron datos de turbiedad desde el año 2019 al 2020 (Figura 12), por medio de la EPS SEDACAJ S.A. Las turbiedades mayores del agua cruda se obtuvieron en los meses de febrero

---

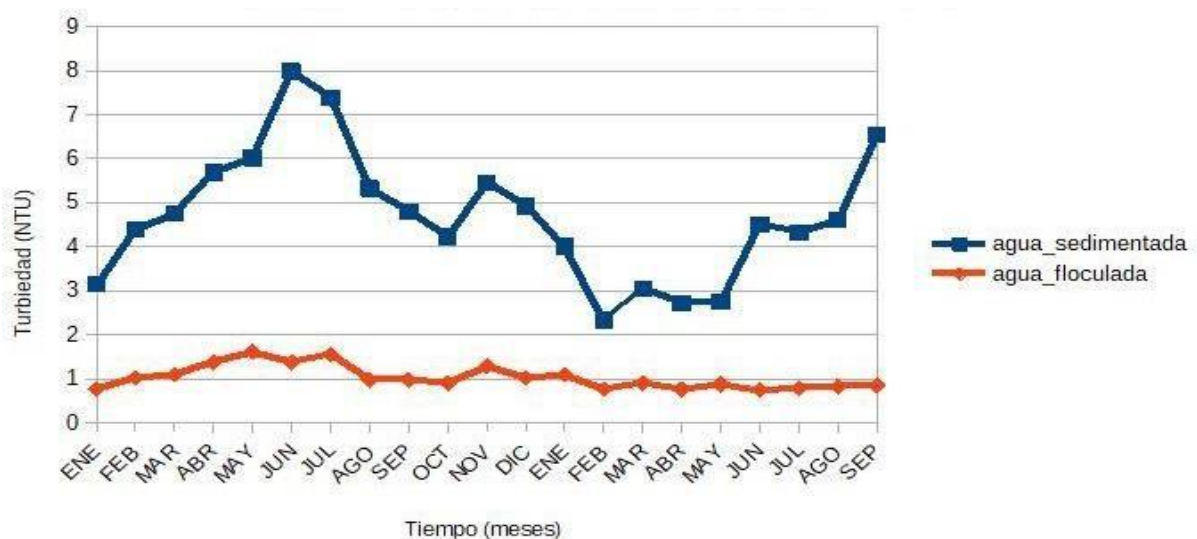
<sup>4</sup> Se considera como “males” a bienes o servicios, ya que esta variable precisa que su consumo produce utilidad negativa por lo que el consumidor estaría dispuesto a tener menos de ellos.

a marzo y junio a julio, en el año 2019; y diciembre a enero y junio a julio, en el año 2020, llegando valores aproximados de 200, 125, 75, 115 NTU, respectivamente. Los valores de turbiedad del agua sedimentada oscilan entre 2 a 8 NTU, teniendo como valores máximos en los meses de junio a julio del año 2019. Este último significa que, a mayor turbiedad, mayor particulado en suspensión en el agua, lo que aumenta la posibilidad de refugio de bacterias, virus y protozoos patógenos en los microhuecos de las partículas en suspensión, y la disminución de la eficacia de los desinfectantes.

Como el indicador del servicio ecosistémico de control de erosión de suelos es el nivel de sedimentados, se vio por conveniente utilizar el indicador de turbidez de agua sedimentada para reflejar dicho indicador. Entonces, la población beneficiaria directa estaría solicitando que se disminuya en su totalidad la turbiedad de agua sedimentada, para tener una mejor provisión de calidad del recurso hídrico para sus diversos fines.

**Figura 12**

*Diagrama de turbiedad promedio mensual NTU en los años 2019-2020*



*Nota.* El gráfico elaborado a partir información de turbiedad promedio mensual NTU. Tomado del “Estudio Tarifario Empresa prestadora de servicios de saneamiento de Cajamarca Sociedad Anónima, SEDACAJ”, por SUNASS, 2019.



**Tabla 6***Turbiedad promedio de agua sedimentada en el periodo 2019-2020\* (NTU)*

<b>Años</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>
<b>2019</b>	3.15	4.39	4.75	5.69	6.02	7.98	7.39	5.33	4.8	4.23	5.46	4.92
<b>2020</b>	4.02	2.34	3.05	2.73	2.75	4.51	4.33	4.61	6.55	5.16	5.16	5.16

*Nota.* Información sobre la turbiedad promedio de agua sedimentada en el periodo 2019-2020. Adaptado del “*Estudio Tarifario Empresa prestadora de servicios de saneamiento de Cajamarca Sociedad Anónima, SEDACAJ*”, por SUNASS, 2019.

En relación a la proyección de la demanda de sedimentos, primero se desarrolló el análisis del nivel de turbiedad, en base a la información disponible que es desde los años 2019-2020 (Tabla 6), para ello, se utilizó un modelo matemático simple (Anexo 15) para proyectar las tendencias de crecimiento de la turbiedad promedio de agua sedimentada en base al registro de información en el punto de captación de la planta de San Miguel. Con ello, se tiene el nivel de turbidez (NTU), convertida en sedimentos (TM) desde el 2020 hasta el 2034, dando como resultado la Tabla 7.

**Tabla 7***Turbiedad anual del periodo 2019-2034 (TM)*

<b>Año</b>	<b>Turbiedad</b>	<b>Año</b>	<b>Turbiedad</b>
2019	5,616.04	2027	5,014.66
2020	4,864.09	2028	5,014.66
2021	5,014.66	2029	5,014.66
2022	5,014.66	2030	5,014.66
2023	5,014.66	2031	5,014.66
2024	5,014.66	2032	5,014.66
2025	5,014.66	2033	5,014.66
2026	5,014.66	2034	5,014.66

*Nota.* Información sobre la estimación de la demanda anual del servicio ecosistémico de control de erosión de suelos durante los años 2019-2034. Adaptado del “*Estudio Tarifario Empresa prestadora de servicios de saneamiento de Cajamarca Sociedad Anónima, SEDACAJ*”, por SUNASS, 2019.

Es importante señalar en la Tabla 8, que la demanda del servicio ecosistémico de control de erosión de suelos generado por la población beneficiaria directa actualmente es igual a la demanda que se generaría en la situación con proyecto, debido que la población exige que se evite en su totalidad la producción de los niveles de turbidez de agua en todos los años de

análisis. En este sentido, el indicador del proyecto de inversión en recuperación del servicio ecosistémico de control de erosión de suelos es el nivel de sedimentados evitados en el punto de captación de la EPS de SEDACAJ en toneladas métricas (TM).

**Tabla 8**

*Estimación de la demanda anual del servicio ecosistémico de control de erosión de suelos en el periodo 2019-2034 (TM)*

<b>Año</b>	<b>Demanda</b>	<b>Año</b>	<b>Demanda</b>
2019	5,616.04	2027	5,014.66
2020	4,864.09	2028	5,014.66
2021	5,014.66	2029	5,014.66
2022	5,014.66	2030	5,014.66
2023	5,014.66	2031	5,014.66
2024	5,014.66	2032	5,014.66
2025	5,014.66	2033	5,014.66
2026	5,014.66	2034	5,014.66

*Nota.* Información sobre la estimación de la demanda anual del servicio ecosistémico de control de erosión de suelos durante los años 2019-2034. Adaptado del “*Servicio especializado para la elaboración de un diagnóstico del ámbito de la subcuenca El Carrasco en la cuenca de Jequetepeque para la formulación de un proyecto de inversión en recuperación del servicio ecosistémico de control de erosión de suelos*”, por MINAM, 2020.

### ***Análisis de la oferta del servicio ecosistémico de control de erosión de suelos***

En base a la aplicación de la metodología puede apreciar los resultados de la aplicación del método RUSLE en la microcuenca “Tres Ríos”, encontrándose que los ecosistemas que tengan una categoría de “muy baja” tiene una producción de erosión promedio de 0.25 TM/ha; la categoría de “baja” tiene una producción de erosión promedio de 2.75 TM/ha; la categoría de “media” tiene una producción de erosión promedio de 10 TM/ha; y la categoría de “alta” tiene una producción de erosión promedio de 32.5 TM/ha. En tal sentido, se procedió a identificar el número de hectáreas de ecosistemas según categoría de erosión.

**Tabla 9**

Número de hectáreas según categoría de erosión en la microcuenca “Tres Ríos” en el periodo 2000-2020 (ha)

Año	2000	2005	2010	2015	2019	2020
Muy Baja	296.37	315.61	263.48	220.03	248.08	251.92
Baja	722.37	711.67	740.48	769.96	753.02	725.13
Media	60.06	47.51	68.75	84.19	76.51	85.99
Alta	3.25	3.11	4.85	3.87	3.79	5.37

*Nota.* Información relacionada al número de hectáreas según categorías de erosión en la microcuenca “Tres Ríos” durante los años 2000-2020. Adaptado del “*Servicio especializado para la elaboración de un diagnóstico del ámbito de la subcuenca El Carrasco en la cuenca de Jequetepeque para la formulación de un proyecto de inversión en recuperación del servicio ecosistémico de control de erosión de suelos*”, por MINAM, 2020.

Es importante señalar que el espacio de la microcuenca “Tres Ríos” tiene un dimensionamiento de 1,095 hectáreas, entonces el excedente de la diferencia entre las categorías señaladas en la Tabla 9 son el dimensionamiento de las 1,095 hectáreas de la microcuenca hace referencia a una categoría de erosión de muy alta que se debe a la geomorfología del sitio y no depende directamente del estado de degradación del ecosistema para producción de erosión.

La proyección en base a la tasa de crecimiento se emplea para prever el comportamiento futuro de una variable. En este caso se cuenta con información escasa pero de mucha importancia que recopila datos históricos del número de hectáreas según categorías de erosión en la microcuenca. Esta técnica asume que la tasa de crecimiento observada en el pasado se mantendrá constante en el futuro, permitiendo así hacer estimaciones a largo plazo.

Es importante considerar:

-Recopilación de datos históricos: Se recopilan datos históricos de la variable que se quiere proyectar.

-Cálculo de la tasa de crecimiento: Se calcula la tasa de crecimiento promedio a partir de los datos históricos. La fórmula general para calcular la tasa de crecimiento es:

$$Tasa\ de\ crecimiento = \left( \frac{Valor\ final - Valor\ inicial}{Valor\ inicial} \right) \times 100$$

-Aplicación de la tasa de crecimiento al futuro: Se aplica la tasa de crecimiento calculada al último valor conocido para proyectar el valor futuro. La fórmula general para la proyección es:

$$\text{Valor futuro} = \text{Valor final} \times \left(1 + \frac{\text{Tasa de crecimiento}}{100}\right)^{\text{periodos a proyectar}}$$

Al respecto, se realizó la proyección de la erosión del suelo para el horizonte de evaluación del proyecto de inversión, teniendo una tasa de erosión en la categoría de “muy baja” de - 0.81%; la categoría de “baja” de 0.02%; la categoría de “media” de 1.81%; la categoría de “alta” de 2.54%. el cual se tuvo como resultado la Tabla 10.

**Tabla 10**

*Proyección de hectáreas de ecosistemas según categoría de erosión en la microcuenca “Tres Ríos” en el periodo 2021-2034 (ha)*

<b>Categoría</b>	<b>2021</b>	<b>2022</b>	<b>2023</b>	<b>2024</b>	<b>2025</b>	<b>2026</b>	<b>2027</b>
Muy Baja	250	248	246	244	242	240	238
Baja	725	725	726	726	726	726	726
Media	88	89	91	92	94	96	97
Alta	6	6	6	6	6	6	6
<b>Categoría</b>	<b>2028</b>	<b>2029</b>	<b>2030</b>	<b>2031</b>	<b>2032</b>	<b>2033</b>	<b>2034</b>
Muy Baja	236	234	232	230	229	227	225
Baja	726	726	727	727	727	727	727
Media	99	101	103	105	107	109	111
Alta	7	7	7	7	7	7	8

*Nota.* Información sobre la proyección de hectáreas de ecosistemas según categoría de erosión en la microcuenca “Tres Ríos” período 2021-2034. Adaptado del “*Servicio especializado para la elaboración de un diagnóstico del ámbito de la subcuenca El Carrasco en la cuenca de Jequetepeque para la formulación de un proyecto de inversión en recuperación del servicio ecosistémico de control de erosión de suelos*”, por MINAM, 2020.

En línea con lo anterior, se realizó la proyección de la erosión de las hectáreas de ecosistemas en la microcuenca “Tres Ríos” con los datos estimados en la Tabla 11 durante el periodo 2021-2034 .

**Tabla 11***Proyección de erosión en la microcuenca “Tres Ríos” en el periodo 2021-2034 (TM)*

<b>Categoría</b>	<b>2021</b>	<b>2022</b>	<b>2023</b>	<b>2024</b>	<b>2025</b>	<b>2026</b>	<b>2027</b>
Muy Baja	62	62	61	61	60	60	59
Baja	1,994	1,995	1,995	1,996	1,996	1,996	1,997
Media	875	891	907	924	941	958	975
Alta	179	183	188	193	198	203	208
<b>Categoría</b>	<b>2028</b>	<b>2029</b>	<b>2030</b>	<b>2031</b>	<b>2032</b>	<b>2033</b>	<b>2034</b>
Muy Baja	59	59	58	58	57	57	56
Baja	1,997	1,998	1,998	1,998	1,999	1,999	1,999
Media	993	1,011	1,029	1,047	1,066	1,086	1,105
Alta	213	219	224	230	236	242	248

*Nota.* Información sobre la proyección de erosión en la microcuenca “Tres Ríos” en el periodo 2021-2034 Adaptado del “*Servicio especializado para la elaboración de un diagnóstico del ámbito de la subcuenca El Carrasco en la cuenca de Jequetepeque para la formulación de un proyecto de inversión en recuperación del servicio ecosistémico de control de erosión de suelos*”, por MINAM, 2020.

Al respecto, se obtuvo un porcentaje total de material movilizado en la cuenca que sale de la misma de 8.01% con la información del área de la microcuenca “Tres Ríos” que representa un valor de 1,095 ha, un coeficiente de bifurcación de la red hidrográfica de 7.15 y con una pendiente de 0.28. Dicha información, permite conocer el nivel de producción de sedimentos que esta otorga la microcuenca sin realizar intervenciones.

**Tabla 12***Proyección de la producción de sedimentos de la microcuenca “Tres Ríos” para el periodo 2021-2034 (TM/año)*

<b>Año</b>	<b>Producción de sedimentos</b>	<b>Año</b>	<b>Producción de sedimentos</b>
<b>2021</b>	249.12	<b>2028</b>	261.18
<b>2022</b>	250.74	<b>2029</b>	263.05
<b>2023</b>	252.40	<b>2030</b>	264.95
<b>2024</b>	254.09	<b>2031</b>	266.89
<b>2025</b>	255.81	<b>2032</b>	268.87
<b>2026</b>	257.57	<b>2033</b>	270.89
<b>2027</b>	259.36	<b>2034</b>	272.95

*Nota.* Información sobre la proyección de la producción de sedimentos de la microcuenca “Tres Ríos” para el periodo 2021-2034. Adaptado del “*Servicio especializado para la elaboración de un diagnóstico del ámbito de la subcuenca El Carrasco en la cuenca de Jequetepeque para la formulación de un proyecto de inversión en recuperación del servicio ecosistémico de control de erosión de suelos*”, por MINAM, 2020.

No obstante, dicha información permitiría obtener el indicador del servicio ecosistémico de control de erosión de suelos representado por el nivel de sedimentos evitados; para ello, se requiere estimar en una situación ideal el nivel de sedimentos que evita la capacidad de los ecosistemas en la microcuenca “Tres Ríos”, el cual nos debemos situar en el escenario que los ecosistemas que tengan la categoría de "muy bueno" y bueno", se convierten en "medio" y de esa manera demostrar que cuando los ecosistemas de la microcuenca se encuentran conservados, estos evitan esta producción de erosión. A manera de referenciarse utiliza la información del año 2000 en la Tabla 13 y Tabla 14 para enfocarse donde los ecosistemas se encontraban más conservados.

**Tabla 13**

*Hectáreas que evitan sedimentos en la microcuenca en una situación ideal (ha)*

<b>Categoría</b>	<b>2000</b>	<b>Ha. que evitan sedimentos</b>
Muy Baja	296.37	-
Baja	722.37	-
Media	60.06	1,078.80
Alta	3.25	3.25
Muy Alto	12.95	12.95
<b>Total</b>	<b>1,095.00</b>	<b>1,095.00</b>

*Nota.* Información sobre la cantidad de hectáreas que evitan sedimentos en la microcuenca en una situación ideal. Adaptado del “*Servicio especializado para la elaboración de un diagnóstico del ámbito de la subcuenca El Carrasco en la cuenca de Jequetepeque para la formulación de un proyecto de inversión en recuperación del servicio ecosistémico de control de erosión de suelos*”, por MINAM, 2020.

**Tabla 14***Sedimentos evitados en la microcuenca en una situación ideal (TM)*

<b>Categoría</b>	<b>2000</b>	<b>2000 (evitado)</b>
Muy Baja	74.09	-
Baja	1,986.52	-
Media	600.60	10,788.00
Alta	105.63	105.63
Muy Alto	971.25	971.25
<b>TOTAL</b>	<b>3,738</b>	<b>11,865</b>
	<b>SDR</b>	<b>8.01%</b>
	<b>Sedimentos</b>	<b>950</b>

*Nota.* Información sobre la cantidad de sedimentos evitados en la microcuenca en una situación ideal. Adaptado del “*Servicio especializado para la elaboración de un diagnóstico del ámbito de la subcuenca El Carrasco en la cuenca de Jequetepeque para la formulación de un proyecto de inversión en recuperación del servicio ecosistémico de control de erosión de suelos*”, por MINAM, 2020.

Entonces, la estimación de la oferta sin proyecto del indicador de sedimentos evitados que está generando la microcuenca “Tres Ríos” en el horizonte de evaluación del proyecto, se considera la diferencia entre los sedimentos evitados en la situación ideal y la producción de sedimentos que se estaría generados. Dichos resultados, se puede ver en la Tabla 15.

**Tabla 15***Oferta sin proyecto de la microcuenca “Tres Ríos” (TM)*

<b>Categoría</b>	<b>2021</b>	<b>2022</b>	<b>2023</b>	<b>2024</b>	<b>2025</b>	<b>2026</b>	<b>2027</b>
Sedimentos evitados en conservación	950	950	950	950	950	950	950
Producción de sedimentos por degradación sin proyecto	249	251	252	254	256	258	259
<b>Sedimentos evitados sin proyecto</b>	<b>701</b>	<b>699.30</b>	<b>697.65</b>	<b>695.96</b>	<b>694.24</b>	<b>692.48</b>	<b>690.69</b>
<b>Contribución</b>	76.68%	77.98%	75.16%	73.53%	74.54%	73.95%	73.78%
<b>Categoría</b>	<b>2028</b>	<b>2029</b>	<b>2030</b>	<b>2031</b>	<b>2032</b>	<b>2033</b>	<b>2034</b>
Sedimentos evitados en conservación	950	950	950	950	950	950	950
Producción de sedimentos por degradación sin proyecto	261	263	265	267	269	271	273
<b>Sedimentos evitados sin proyecto</b>	<b>688.86</b>	<b>687.00</b>	<b>685.10</b>	<b>683.16</b>	<b>681.18</b>	<b>679.16</b>	<b>677.10</b>
<b>Contribución</b>	72.51%	72.31%	72.11%	71.91%	71.70%	71.49%	71.27%

*Nota.* Información sobre oferta sin proyecto de la microcuenca “Tres Ríos”. Adaptado del “*Servicio especializado para la elaboración de un diagnóstico del ámbito de la subcuenca El Carrasco en la cuenca de Jequetepeque para la formulación de un proyecto de inversión en recuperación del servicio ecosistémico de control de erosión de suelos*”, por MINAM, 2020.

Por otro lado, la estimación de la oferta con proyecto se basa en el análisis de la situación donde se estaría recuperando un valor de 32.85 hectáreas de ecosistemas degradados en la unidad productora (ecosistemas que se encuentran dentro de la categoría de “regula”). En este sentido, el impacto de la recuperación de 32.85 hectáreas de ecosistemas se refleja la proyección de la producción de erosión de la microcuenca, como se señala a continuación en la Tabla 16 y Tabla 17.

**Tabla 16**

*Efecto de la recuperación de 32.85 hectáreas (ha)*

<b>Categoría</b>	<b>2021</b>	<b>2022</b>	<b>2023</b>	<b>2024</b>	<b>2025</b>	<b>2026</b>	<b>2027</b>
Muy Baja	249.88	247.86	245.86	243.87	<b>276.72</b>	276.72	276.72
Baja	725.27	725.41	725.55	725.69	725.69	725.69	725.69
Media	87.54	89.13	90.74	92.38	<b>59.53</b>	59.53	59.53
Alta	5.50	5.64	5.78	5.93	5.93	5.93	5.93
<b>TOTAL</b>	<b>1,082.05</b>	<b>1,077.90</b>	<b>1,077.56</b>	<b>1,078.05</b>	<b>1,067.87</b>	<b>1,067.87</b>	<b>1,067.87</b>
<b>Categoría</b>	<b>2028</b>	<b>2029</b>	<b>2030</b>	<b>2031</b>	<b>2032</b>	<b>2033</b>	<b>2034</b>
Muy Baja	276.72	276.72	276.72	276.72	276.72	276.72	276.72
Baja	725.69	725.69	725.69	725.69	725.69	725.69	725.69
Media	59.53	59.53	59.53	59.53	59.53	59.53	59.53
Alta	5.93	5.93	5.93	5.93	5.93	5.93	5.93
<b>TOTAL</b>	<b>1,067.87</b>	<b>1,067.87</b>	<b>1,067.87</b>	<b>1,067.87</b>	<b>1,067.87</b>	<b>1,067.87</b>	<b>1,067.87</b>

*Nota.* Información sobre el efecto de la recuperación de 32.85 hectáreas. Adaptado del “*Servicio especializado para la elaboración de un diagnóstico del ámbito de la subcuenca El Carrasco en la cuenca de Jequetepeque para la formulación de un proyecto de inversión en recuperación del servicio ecosistémico de control de erosión de suelos*”, por MINAM, 2020.



**Tabla 17***Efecto de la recuperación de 32.85 hectáreas en la producción de sedimentos (TM)*

<b>Categoría</b>	<b>2021</b>	<b>2022</b>	<b>2023</b>	<b>2024</b>	<b>2025</b>	<b>2026</b>	<b>2027</b>
Muy Baja	62.47	61.97	61.46	60.97	69.18	69.18	69.18
Baja	1,994.49	1,994.88	1,995.26	1,995.64	1,995.64	1,995.64	1,995.64
Media	875.43	891.28	907.42	923.84	595.34	595.34	595.34
Alta	178.81	183.34	188.00	192.77	192.77	192.77	192.77
<b>TOTAL</b>	<b>3,111.20</b>	<b>3,131.47</b>	<b>3,152.13</b>	<b>3,173.22</b>	<b>2,852.93</b>	<b>2,852.93</b>	<b>2,852.93</b>
		<b>SDR</b>			<b>8.01%</b>	<b>8.01%</b>	<b>8.01%</b>
		<b>Sedimentos producidos</b>			<b>228.44</b>	<b>228.44</b>	<b>228.44</b>
<b>Categoría</b>	<b>2028</b>	<b>2029</b>	<b>2030</b>	<b>2031</b>	<b>2032</b>	<b>2033</b>	<b>2034</b>
Muy Baja	69.18	69.18	69.18	69.18	69.18	69.18	69.18
Baja	1,995.64	1,995.64	1,995.64	1,995.64	1,995.64	1,995.64	1,995.64
Media	595.34	595.34	595.34	595.34	595.34	595.34	595.34
Alta	192.77	192.77	192.77	192.77	192.77	192.77	192.77
<b>TOTAL</b>	<b>2,852.93</b>	<b>2,852.93</b>	<b>2,852.93</b>	<b>2,852.93</b>	<b>2,852.93</b>	<b>2,852.93</b>	<b>2,852.93</b>
<b>SDR</b>	<b>8.01%</b>	<b>8.01%</b>	<b>8.01%</b>	<b>8.01%</b>	<b>8.01%</b>	<b>8.01%</b>	<b>8.01%</b>
<b>Sedimentos producidos</b>	<b>228.44</b>	<b>228.44</b>	<b>228.44</b>	<b>228.44</b>	<b>228.44</b>	<b>228.44</b>	<b>228.44</b>

*Nota.* Información sobre el efecto de la recuperación de 32.85 hectáreas en la producción de sedimentos (TM). Adaptado del “*Servicio especializado para la elaboración de un diagnóstico del ámbito de la subcuenca El Carrasco en la cuenca de Jequetepeque para la formulación de un proyecto de inversión en recuperación del servicio ecosistémico de control de erosión de suelos*”, por MINAM, 2020.

De la misma manera, que se estimó la oferta en la situación sin proyecto, se aplica los mismos criterios para la situación con proyecto, la situación donde se recupera los 32.85 ha y a su vez se evita continuar con la degradación de los ecosistemas en la unidad productora.

### ***Análisis brecha oferta-demanda del servicio ecosistémico***

En relación a la estimación de la brecha oferta optimizada-demanda, es preciso indicar que la demanda con proyecto que solicita la población de la localidad de San Miguel corresponde a las TM/año de sedimentos que requieren ser tratados en el punto de captación San Miguel (“El Carrasco”) por la EPS SEDACAJ. En base al acápite de demanda, se han estimado los valores a considerar para la proyección de la demanda con proyecto.

En relación a la estimación de la oferta optimizada, según la Tabla 18, se considera la información del acápite anterior, donde se obtiene las TM/año de sedimentos producidos por la UP Microcuenca “Tres Ríos”, en la situación sin proyecto o situación actual.

**Tabla 18***Brecha Oferta optimizada-demanda (TM/año)*

Descripción	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
<b>Demanda</b>	5,014	5,014	5,014	5,014	5,014	5,014	5,014	5,014	5,014	5,014	5,014	5,014	5,014
Oferta Optimizada	699	697	695	694	692	690	688	687	685	683	681	679	677
<b>Brecha Oferta-Demanda</b>	<b>4,315</b>	<b>4,317</b>	<b>4,318</b>	<b>4,320</b>	<b>4,322</b>	<b>4,323</b>	<b>4,325</b>	<b>4,327</b>	<b>4,329</b>	<b>4,331</b>	<b>4,333</b>	<b>4,335</b>	<b>4,337</b>

*Nota.* Información sobre la brecha-oferta optimizada demanda (TM/año). Adaptado del “*Servicio especializado para la elaboración de un diagnóstico del ámbito de la subcuenca El Carrasco en la cuenca de Jequetepeque para la formulación de un proyecto de inversión en recuperación del servicio ecosistémico de control de erosión de suelos*”, por MINAM, 2020.

En tal sentido, reflejado en la Tabla 19 el proyecto de inversión tiene una contribución al cierre de brechas del servicio ecosistémico de control de erosión de suelos en base a la información provista en el subcapítulo anterior.

**Tabla 19***Contribución del proyecto en el horizonte de evaluación (miles TM)*

Descripción	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
<b>Demanda</b>	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Oferta Optimizada	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
<b>Brecha Oferta-Demanda</b>	<b>-4.3</b>	<b>-4.3</b>	<b>-4.3</b>	<b>-4.3</b>	<b>-4.3</b>	<b>-4.3</b>	<b>-4.3</b>	<b>-4.3</b>	<b>-4.3</b>	<b>-4.3</b>	<b>-4.3</b>	<b>-4.3</b>	<b>-4.3</b>
Oferta Incremental				0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04
Contribución (%)	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.6</b>	<b>0.6</b>	<b>0.7</b>	<b>0.7</b>	<b>0.8</b>	<b>0.8</b>	<b>0.8</b>	<b>0.9</b>	<b>0.9</b>	<b>1.0</b>

*Nota.* Información sobre la contribución del proyecto en el horizonte de evaluación. Adaptado del “*Servicio especializado para la elaboración de un diagnóstico del ámbito de la subcuenca El Carrasco en la cuenca de Jequetepeque para la formulación de un proyecto de inversión en recuperación del servicio ecosistémico de control de erosión de suelos*”, por MINAM, 2020.

## 4.2 Análisis Costo-Eficacia

### *Identificación de medidas de recuperación*

La iniciativa de la inversión en infraestructura natural está considerando desarrollar las acciones a desarrollar se prioriza la recuperación de ecosistemas en un total de 32.85 ha. Estas acciones directas están enfocadas estrictamente en los ecosistemas identificados en la subcuenca El Carrasco y en las cuales se ha obtenido el permiso social correspondiente. En la Tabla 20 se resumen las acciones propuestas.

**Tabla 20**

*Acciones directas – subcuenca del río “El Carrasco”*

<b>Ítem</b>	<b>Acciones</b>	<b>Tipo de acción</b>	<b>Área (ha)</b>
1	Forestación	Directa	8.03
2	Terrazas de formación lenta	Directa	12.35
3	Zanjas de infiltración	Directa	12.47
		<b>TOTAL</b>	<b>32.85</b>

*Nota.* Información sobre las acciones directas en la subcuenca El Carrasco. Adaptado del “*Servicio especializado para la elaboración de un diagnóstico del ámbito de la subcuenca El Carrasco en la cuenca de Jequetepeque para la formulación de un proyecto de inversión en recuperación del servicio ecosistémico de control de erosión de suelos*”, por MINAM, 2020.

Asimismo, en cuanto a acciones indirectas en la Tabla 21, se proyecta la ejecución de capacitaciones a los beneficiarios del proyecto, las cuales permitirán una adecuada gestión de los servicios ecosistémicos y la posibilidad de replicar las acciones propuestas. Estas capacitaciones y charlas enfocadas en la mejora de la gestión comunal y gubernamental para la formulación, ejecución, mantenimiento y monitoreo de proyectos ambientalmente sostenibles de recuperación de ecosistemas.

**Tabla 21***Acciones indirectas – subcuenca del río El Carrasco*

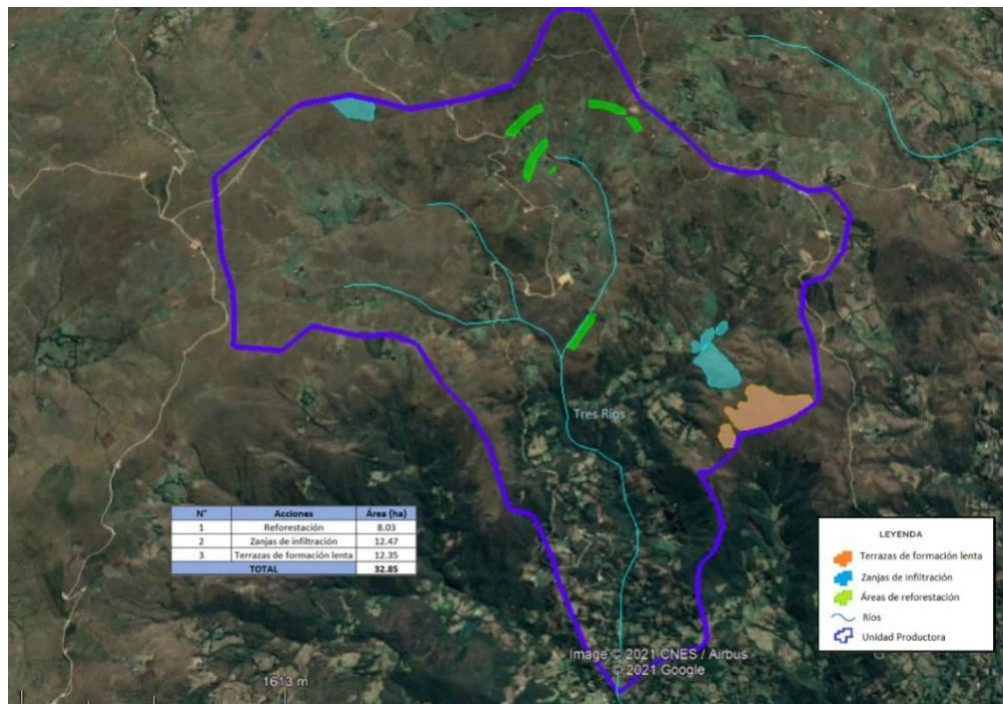
ÍTEM	ACCIONES	TIPO DE ACCIÓN	CANTIDAD (UND)
1	Capacitación de los integrantes de la microcuenca “Tres Ríos” en temas organizacionales	Indirecta	2
2	Asistencia técnica a los integrantes de la microcuenca “Tres Ríos” en manejo y conservación de servicios ecosistémicos	Indirecta	2
3	Capacitación al personal operativo de la EPS para el monitoreo y seguimiento del servicio ecosistémico de control de la erosión de suelos	Indirecta	2
4	Capacitación de los integrantes de la microcuenca “Tres Ríos” para promoción de productos amigables con el ambiente	Indirecta	2
<b>TOTAL</b>			<b>8</b>

*Nota.* Información sobre las acciones indirectas en la subcuenca El Carrasco. Adaptado del “*Servicio especializado para la elaboración de un diagnóstico del ámbito de la subcuenca El Carrasco en la cuenca de Jequetepeque para la formulación de un proyecto de inversión en recuperación del servicio ecosistémico de control de erosión de suelos*”, por MINAM, 2020.

La localización de las acciones se presenta en la imagen presentada en la Figura 13, la cual es el resultado de la interpolación de las áreas degradadas identificadas en el diagnóstico y la autorización de los beneficiarios o licencia social sobre los terrenos para la ejecución de las obras.

### Figura13

Ubicación de acciones directas de las intervenciones del Proyecto



*Nota.* El gráfico identifica la Ubicación de acciones directas de las intervenciones del Proyecto. Tomado de *Servicio especializado para la elaboración de un diagnóstico del ámbito de la subcuenca El Carrasco en la cuenca de Jequetepeque para la formulación de un proyecto de inversión en recuperación del servicio ecosistémico de control de erosión de suelos*, por MINAM, 2020.

Dentro de la Tabla 22 es posible identificar las metas de los activos físicos por acción de los componentes del proyecto.

**Tabla 22**

*Metas de los activos físicos por acción*

Acción sobre los activos			Unidad Física		Dimensión Física	
Naturaleza de la acción	Activos	Tipo de factor productivo	Unidad de medida	Cantidad	Unidad de medida	Cantidad
<b>Adecuación</b>	Superficie con cobertura vegetal recuperada	Infraestructura natural	Hectáreas	8.03	ha	8.03
<b>Adecuación</b>	Terrazas de formación Lenta	Infraestructura natural	Nro instalaciones	2	ha	12.35
<b>Implementación</b>	Zanjas de infiltración	Infraestructura natural	Longitud en metros	22,670.00	ha	12.47
<b>Implementación</b>	Capacidad de los integrantes de la microcuenca “Tres Ríos” en temas organizacionales	Intangible	Nro Evento	2		
<b>Implementación</b>	Asistencia técnica a los integrantes de la microcuenca “Tres Ríos” en manejo y conservación de ecosistemas	Intangible	Nro Taller	2		
<b>Implementación</b>	Capacidad al personal operativo de la EPS para el monitoreo y seguimiento del servicio ecosistémico del control de la erosión de suelos	Intangible	Nro Evento	2		
<b>Implementación</b>	Capacidad de los integrantes de la microcuenca “Tres Ríos” para la promoción de productos amigables con el ambiente	Intangible	Nro Evento	2		
<b>Adquisición</b>	Kit de monitoreo de sedimentación	Equipo	Nro de kit	1		

*Nota.* Información sobre las metas de los activos físicos por acción del proyecto. Adaptado del “*Servicio especializado para la elaboración de un diagnóstico del ámbito de la subcuenca El Carrasco en la cuenca de Jequetepeque para la formulación de un proyecto de inversión en recuperación del servicio ecosistémico de control de erosión de suelos*”, por MINAM, 2020.

**Estimación de los costos de inversión y de funcionamiento**

El costo estimado del proyecto (Tabla 23) asciende a S/ 992,076.83 (Novecientos noventa y dos mil setenta y seis con 01/100 soles), dentro del cual se precisa a detalle la estructura de costos.

**Tabla 23**

*Detalle de la estructura de costos*

Naturaleza de la acción	Acción		Unidad Física			Dimensión		Precio	Costo
	Activos	Descripción de la acción	Tipo de factor productivo	Unidad de medida	Cantidad	Unidad de medida	Cantidad	Precio unitario (soles/UM)	Costos totales
<b>Adecuación</b>	Superficie con cobertura vegetal recuperada	Reforestación con especies nativas*	Infraestructura natural	Hectáreas	8.03			12,758.92	102,454.14
<b>Adecuación</b>	Terrazas deformación Lenta	Construcción de terrazas deformación de suelos	Infraestructura natural	Nro instalaciones	2	ha	12.35	196,580.69	393,161.38
<b>Implementación</b>	Zanjas de infiltración	Construcción de zanjas de infiltración**	Infraestructura natural	Longitud en metros	22,670.00	ha	12.47	12.39	280,980.79
<b>Implementación</b>	Capacidad de los integrantes de la microcuenca “Tres Ríos” en temas organizacionales	Capacitación organizacional de usuarios	Intangible	Nro Evento	2			1,963.50	3,927.00
<b>Implementación</b>	Asistencia técnica a los integrantes de la microcuenca “Tres Ríos” en manejo y conservación de ecosistemas	Asistencia técnica en manejo y conservación de servicios ecosistémicos	Intangible	Nro Taller	2			1,963.50	3,927.00
<b>Implementación</b>	Capacidad personal operativo de la EPS para el	Capacitación para el monitoreo y seguimiento del servicio	Intangible	Nro Evento	2			1,963.50	3,927.00

Acción		Unidad Física			Dimensión		Precio	Costo	
Naturaleza de la acción	Activos	Descripción de la acción	Tipo de factor productivo	Unidad de medida	Cantidad	Unidad de medida	Cantidad	Precio unitario (soles/UM)	Costos totales
	monitoreo y seguimiento del servicio ecosistémico del control de la erosión de suelos	ecosistémico de control de la erosión desuelos							
<b>Implementación</b>	Capacidad de los integrantes de la microcuenca “Tres Ríos” para promoción de productos amigables con el ambiente	Capacitación para promoción de productos amigables con el ambiente	Intangible	Nro Evento	2			1,963.50	3,927.00
<b>Adquisición</b>	Kit de monitoreo de sedimentación	Adquisición de kit de monitoreo de sedimentación	Equipo	Nro de kit	1			10,500.00	10,500.00
<b>Medidas de reducción del riesgo de desastres y mitigación ambiental</b>									
<b>Implementación</b>	Manejo y transporte de residuos		Intangible	Global	1			10,560.00	11,088.00
<b>Implementación</b>	Medidas de contingencia		Intangible	Global	1			6,842.40	7,184.52
<b>(a) Sub total de costo de inversión</b>									<b>821,076.83</b>

*Nota.* Información sobre el detalle de la estructura de costos. Adaptado del “Servicio especializado para la elaboración de un diagnóstico del ámbito de la subcuenca El Carrasco en la cuenca de Jequetepeque para la formulación de un proyecto de inversión en recuperación del servicio ecosistémico de control de erosión de suelos”, por MINAM, 2020.

Una vez implementado el proyecto, fue necesario realizar acciones para su funcionamiento en el tiempo y su conservación, para esto se determina medidas para su operación y mantenimiento que serán presupuestadas según los recursos que requería para este fin. En los costos de mantenimiento se valoriza el personal, materiales e insumos para el mantenimiento de los activos a instalar, tomando en consideración el tiempo en que se debe realizar en el periodo de un año. Este costo podría variar según las necesidades de los activos en el tiempo (Según la información consignada en la Tabla 24 y Tabla 25).



**Tabla 24***Programación por inversión en fase de funcionamiento*

Activos	Unidad de medida	Cantidad	Periodo de funcionamiento (años)									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Superficie con cobertura vegetal recuperada</b>												
Personal	Jornal	120	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Materiales e insumos	Global	12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>Terrazas de formación Lenta</b>												
Personal	Jornal	150	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Materiales e insumos	Global	12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>Zanjas de infiltración</b>												
Personal	Jornal	100	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Materiales e insumos	Global	12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>Monitoreo y seguimiento del servicio ecosistémico de control de la erosión de suelos</b>												
Personal	Personal	120	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Materiales e insumos	Global	12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>Capacidad para promoción de productos amigables con el ambiente</b>												
Materiales e insumos	Global	12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

*Nota.* Información sobre la programación por inversión en fase de funcionamiento del proyecto. Adaptado del “Servicio especializado para la elaboración de un diagnóstico del ámbito de la subcuenca El Carrasco en la cuenca de Jequetepeque para la formulación de un proyecto de inversión en recuperación del servicio ecosistémico de control de erosión de suelos”, por MINAM, 2020.

**Tabla 25***Detalle de la estructura de costos por año en la fase de funcionamiento*

<b>Actividades</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Cant.</b>	<b>Frecuencia por año</b>	<b>Costo und.</b>	<b>Costo total</b>
Personal técnico en monitoreo	Personal	1	12	S/1,500.00	<b>S/18,000.00</b>
Insumos para monitoreo	Insumo	1	12	S/200.00	<b>S/2,400.00</b>
Transporte	Transporte	1	12	S/150.00	<b>S/1,800.00</b>
Material de oficina para monitoreo	Gbl	1	12	S/150.00	<b>S/1,800.00</b>
Equipo de informática para monitoreo	Gbl	1	1	S/1,500.00	<b>S/1,500.00</b>
Materiales de seguridad para monitoreo	Gbl	1	1	S/150.00	<b>S/150.00</b>
Obrero para limpieza de terraza	Jornal	15	4	S/50.00	<b>S/3,000.00</b>
Materiales y transporte para la terraza	Gbl	1	4	S/200.00	<b>S/800.00</b>
Obrero para cuidado de la reforestación	Jornal	5	4	S/50.00	<b>S/1,000.00</b>
Materiales y transporte para el cuidado de la reforestación	Gbl	1	4	S/200.00	<b>S/800.00</b>
Obrero para mantenimiento de las zanjas	Jornal	10	4	S/50.00	<b>S/2,000.00</b>
Materiales y transporte para el mantenimiento de zanjas	Gbl	1	4	S/200.00	<b>S/800.00</b>
Difusión de eventos para la promoción de productos amigables con el ambiente	Gbl	1	1	S/1,000	<b>S/1,000.00</b>
Desarrollo de eventos para la promoción de productos amigables con el ambiente	Gbl	1	1	S/4,000	<b>S/4,000.00</b>
<b>Total</b>					<b>S/39,050.00</b>

*Nota.* Información sobre el detalle de la estructura de costos por año en la fase de un funcionamiento. Adaptado del “*Servicio especializado para la elaboración de un diagnóstico del ámbito de la subcuenca El Carrasco en la cuenca de Jequetepeque para la formulación de un proyecto de inversión en recuperación del servicio ecosistémico de control de erosión de suelos*”, por MINAM, 2020.

### ***Estimación de la rentabilidad social***

Se optó por desarrollar el análisis costo-eficacia, debido a la información disponible y el costo adicional que significaría poder utilizar la valoración económica ambiental por la reducción de la sedimentación en la EPS SEDACAJ, entonces al no poder monetizar los beneficios del proyecto, se realizó el análisis costo-eficacia, teniendo como resultado lo precisado en la Tabla 26.

**Tabla 26***Cálculo del indicador Costo Eficacia<sup>5</sup> del proyecto de inversión*

<b>Año</b>	<b>Fase de Inversión (A)</b>	<b>Inversiones programadas en la fase de funcionamiento</b>	<b>Costos de O&amp;M incrementales</b>	<b>Flujo total de costos (S/)</b>	<b>Toneladas de sedimentos reducidos</b>
1	50,820.00	0	0	50,820.00	
2	685,441.72	0	0	685,441.72	
3	53,361.00	0	0	53,361.00	
4		0	31,369.00	31,369.00	26.17
5		0	31,369.00	31,369.00	26.17
6		0	31,369.00	31,369.00	26.17
7		0	31,369.00	31,369.00	26.17
8		0	31,369.00	31,369.00	26.17
9		0	31,369.00	31,369.00	26.17
10		0	31,369.00	31,369.00	26.17
11		0	31,369.00	31,369.00	26.17
12		0	31,369.00	31,369.00	26.17
13		0	31,369.00	31,369.00	26.17
			<b>VACs - 8%</b>	<b>911,696.71</b>	
			<b>Sedimentos reducidos</b>		<b>437.96</b>
			<b>Índice Costo-eficacia (costos por TM)</b>		<b>2,081.68</b>

*Nota.* Información sobre el Cálculo del indicador Costo-Eficacia del proyecto de inversión. Adaptado del “*Servicio especializado para la elaboración de un diagnóstico del ámbito de la subcuenca El Carrasco en la cuenca de Jequetepeque para la formulación de un proyecto de inversión en recuperación del servicio ecosistémico de control de erosión de suelos*”, por MINAM, 2020.

<sup>5</sup> Cálculo realizado según flujos totales de costos de estudio en la Fase de Inversión del proyecto

### **4.3 Discusión de los resultados**

La formulación de la iniciativa de inversión en la recuperación de la infraestructura natural en el distrito de Calquis, departamento de Cajamarca, se basó en una serie de lineamientos y directrices gubernamentales clave que guían la planificación y evaluación de proyectos de inversión en el ámbito ecológico y ambiental. Estos lineamientos incluyen la Resolución Ministerial N° 178-2019-MINAM, que establece los "Lineamientos para la Formulación de los Proyectos de Inversión en las Tipologías Ecosistemas, Especies y Apoyo al uso Sostenible". Asimismo, se hace referencia a la Guía General para la Identificación, Formulación y Evaluación de proyectos de inversión del Sistema Nacional de Programación Multianual y Gestión de Inversiones, contenida en la Resolución Directoral N° 004-2019-EF/63.01 del Ministerio de Economía y Finanzas. Además, se menciona la "Ficha técnica simplificada de proyectos de inversión-recuperación del servicio ecosistémico de regulación hídrica" establecida por la Resolución Ministerial 066-2020-MINAM.

En este contexto, la iniciativa se enfrenta a desafíos sustanciales en la medición y comparación del servicio ecosistémico de control de erosión de suelos. El indicador de sedimentos TM/m<sup>3</sup>/ha utilizado para analizar la oferta y demanda de este servicio muestra una brecha creciente en el tiempo, reflejando el constante aumento de la degradación en la situación sin proyecto. Sin embargo, la falta de una unidad de medida estandarizada para evaluar este servicio dificulta la comparación con otros proyectos de inversión que se centran en la recuperación y conservación de hectáreas. Esta falta de estandarización también se ve reflejada en la ausencia de proyectos de inversión relacionados con el control de erosión de suelos en el Banco de Inversión del Ministerio de Economía y Finanzas, lo que complica aún más la evaluación de la eficiencia y el impacto de la iniciativa en el contexto de inversiones similares.

Respecto a la tasa social de descuento establecida por el MEF, algunos Organismos internacionales como el Banco Mundial y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) respaldan esta metodología en sus manuales. China, México y Perú son ejemplos de naciones que han adoptado este enfoque, logrando tasas de crecimiento del 8%, 10% y 9%, respectivamente. En este último periodo, el avance en el conocimiento y la aplicación de la economía experimental y del comportamiento para discernir las preferencias individuales, además del análisis de la equidad intergeneracional de los impactos de la inversión pública, se ha desafiado las convenciones en la estimación de la Tasa de Descuento Social (Castillo & Zhangallimbay, 2021).

Esta situación pone de relieve la necesidad apremiante de una mayor atención hacia la valoración económica de los servicios ecosistémicos, incluso en ausencia de proyectos de inversión concretos. La falta de datos comparativos dificulta la evaluación precisa de los costos y beneficios asociados con la implementación de medidas de control de erosión, lo que puede llevar a decisiones subóptimas en la asignación de recursos y en la formulación de políticas ambientales. Por lo tanto, se destaca la urgencia de realizar investigaciones interdisciplinarias que aborden tanto la evaluación económica como la valoración integral de los servicios ecosistémicos, con el fin de proporcionar una base sólida para la toma de decisiones informadas y la protección eficaz del suelo y la prevención de la erosión en el distrito de Calquis y más allá

La ausencia de proyectos de inversión específicos relacionados con el control de erosión de suelos en el Banco de Inversión del Ministerio de Economía y Finanzas refleja un vacío importante en la planificación y ejecución de inversiones en el ámbito ambiental y ecológico. A pesar de la creciente conciencia de la importancia de la conservación del suelo y la reducción de la erosión en la sostenibilidad de los sistemas naturales y humanos, la falta de iniciativas de inversión en este campo ha generado una brecha en la comprensión completa de cómo los costos asociados con la implementación de medidas de control se equilibran con los beneficios derivados de la reducción de la erosión y la sedimentación.

Para abordar esta carencia, es esencial promover investigaciones interdisciplinarias que permitan una evaluación más completa de los servicios ecosistémicos, incluso en ausencia de proyectos de inversión tangibles. Esto implica no solo evaluar la eficiencia económica de las medidas de control de erosión, sino también la valoración integral de los servicios ecosistémicos que estas medidas pueden proporcionar. Esto puede incluir la valoración de la biodiversidad, la mejora de la calidad del agua, la resiliencia ante desastres naturales y la contribución a la seguridad alimentaria y hídrica.

La falta de un marco directo para evaluar la eficiencia económica en ausencia de proyectos de inversión específicos no debe subestimarse. La toma de decisiones basada en datos y análisis sólidos es fundamental para garantizar el uso eficiente de los recursos y la protección a largo plazo del entorno natural. Además, la valoración de los servicios ecosistémicos puede tener un impacto significativo en la formulación de políticas y en la asignación de recursos, ya que proporciona una base sólida para justificar inversiones en la conservación del suelo y la

prevención de la erosión.

En última instancia, la falta de proyectos de inversión en el ámbito del control de erosión de suelos subraya la erosión y promuevan la resiliencia ecológica y socioeconómica en la región de Calquis y en todo el país.

Sin perjuicio de ello, es importante destacar que la ficha técnica de regulación hídrica establece un valor máximo de 13,953 soles por hectárea como referencia. En el caso de que el proyecto de inversión en recuperación de la infraestructura natural en el distrito de Calquis, departamento de Cajamarca, tenga un costo por hectárea de 12,758.92 soles por hectárea, representa que es menor a este límite máximo, ello podría indicar una viabilidad social favorable para el proyecto. Un costo por hectárea por debajo del límite máximo establecido en la ficha técnica sugiere que el proyecto puede ser considerado económicamente eficiente y, posiblemente, más atractivo desde el punto de vista social.

## V. CONCLUSIONES

En el transcurso de esta investigación, se ha emprendido un análisis riguroso y multidimensional que aborda tanto el análisis de la oferta y la demanda del servicio ecosistémico de control de erosión de suelos en el pintoresco distrito de Calquis, provincia de San Miguel- Cajamarca, como el análisis costo-eficacia por sedimentos. Este enfoque holístico ha revelado una comprensión profunda de la interconexión entre el desarrollo económico, la sostenibilidad ambiental y la mejora de la calidad de vida de las comunidades locales.

La evaluación de la oferta y la demanda del servicio ecosistémico de control de erosión ha proporcionado información valiosa sobre cómo los ecosistemas en Calquis contribuyen a la mitigación de la erosión y a la conservación del suelo, estimándose una reducción de la producción de sedimentos de 357 TM/m<sup>3</sup> durante trece años, que representa un cierre de brecha de la demanda del 0.83%. que es un porcentaje relativamente bajo, considerando la necesidad de las áreas a intervención. A través de este análisis, hemos destacado la importancia de reconocer y cuantificar los beneficios que los ecosistemas brindan de manera natural, resaltando la necesidad de políticas y proyectos de inversión que preserven y restauren estos servicios esenciales.

El análisis costo-eficacia, expresado en términos de soles por sedimento, tiene un valor de S/ 27,358 /TM/m<sup>3</sup>, pero al no existir un umbral de costos de línea de corte por parte del Ministerio del Ambiente, para la aprobación de un proyecto de inversión pública en recuperación del servicio ecosistémico de control de erosión de suelos, se optó por realizar la comparación del índice de eficiencia (indicador de hectárea) sobre los costos de reforestación de una hectárea del proyecto de inversión con el rango de costos (umbral de costos) sobre la actividad de reforestación de la Resolución Ministerial 066-2020-MINAM.

Sobre el particular, la mencionada resolución establece el umbral de costos de reforestación de una hectárea en S/ 13,953 / ha. , mientras que el proyecto de inversión estimó un valor de costos de reforestación de S/ 12,758.92 / ha.; entonces como el valor del proyecto de inversión es menor al umbral de costos determinados por la Resolución Ministerial 066-2020-MINAM, se brinda viabilidad al proyecto de inversión.

En última instancia, esta investigación resalta la importancia de integrar consideraciones de eficiencia y sostenibilidad en la planificación y ejecución de proyectos de inversión pública a través del Sistema Nacional de Programación Multianual de Inversiones. Los resultados obtenidos en este estudio ofrecen una base sólida para la toma de decisiones informadas, que priorizan la conservación de los ecosistemas y el bienestar de las comunidades locales.



## VI. RECOMENDACIONES

Basado en los hallazgos y análisis detallados presentados en esta investigación sobre el análisis costo-eficacia de la inversión en infraestructura natural en recuperación del servicio ecosistémico de control de erosión de suelos en el distrito de Calquis, provincia de San Miguel, departamento de Cajamarca, se derivan las siguientes recomendaciones clave:

La implementación exitosa del proyecto requerirá una estrecha colaboración entre instituciones gubernamentales, organizaciones no gubernamentales, comunidades locales y expertos en diferentes campos. Fomentar un enfoque participativo que involucre a todas las partes interesadas desde las etapas iniciales de planificación hasta la implementación garantizará una comprensión compartida de los objetivos, así como una distribución equitativa de los beneficios y responsabilidades.

Dado el carácter dinámico de los ecosistemas y los cambios ambientales, se recomienda la implementación de un sistema de monitoreo y evaluación a largo plazo para evaluar la efectividad del proyecto en términos de reducción de la erosión y la sedimentación. Esto permitirá realizar ajustes y mejoras en función de los resultados reales obtenidos, asegurando así la eficiencia y la adaptabilidad del proyecto a condiciones cambiantes.

Para maximizar el impacto positivo del proyecto, se sugiere desarrollar programas de educación ambiental que informen y sensibilicen a la comunidad local sobre la importancia de la conservación del suelo y la participación activa en las actividades de restauración. La comprensión y el apoyo de la comunidad son esenciales para garantizar la sostenibilidad a largo plazo de las medidas implementadas.

Además del enfoque del proyecto específico en Calquis, se recomienda promover una cultura de inversión en servicios ecosistémicos en todo el país. Esto podría lograrse mediante la divulgación de los resultados exitosos de este proyecto y la colaboración con otras regiones interesadas en abordar desafíos similares de degradación del suelo y erosión.

Dada la naturaleza compleja y dinámica de los ecosistemas, se insta a continuar la investigación en áreas relacionadas con la restauración ecológica, la valoración de servicios

ecosistémicos y la gestión sostenible de recursos. El desarrollo de capacidades locales en estos campos asegurará la gestión efectiva y la adaptación a futuros desafíos.

Al adoptar estas recomendaciones, se espera que el proyecto de inversión pública en la recuperación del servicio ecosistémico de control de erosión de suelos en Calquis no solo logre sus objetivos iniciales, sino que también sienta las bases para un enfoque más amplio y sostenible hacia la gestión de recursos naturales en todo el país.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arrow K. (1950). *A Difficulty in the Concept of Social Welfare*. The Journal of Political Economy, 58(4): 328-346.
- Austin, Z., McVittie, A., McCracken, D., Moxey, A., Moran, D., & White, P. (2015). Integrating quantitative and qualitative data in assessing the cost-effectiveness of biodiversity conservation programmes. *Biodiversity and Conservation*, 24(6), 1359-1375. <https://doi.org/10.1007/s10531-015-0861-4>
- Avendaño, C., Calvo, J. P., Cobo, R. y Sanz, M.E. (1994). *La modelización matemática, ajuste y contraste del Sediment delivery ratio a los embalses. Aplicación al cálculo de la erosión de cuencas fluviales. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), Madrid. 40p.*
- Azqueta, D., Alviar, M., Domínguez, L., & O'Ryan, R. (2007). *Introducción a la economía ambiental* (Segunda edición). McGraw Hill.
- Belli, P; Anderson, J; Barnum, H; Dixon J. y Tan JP. (1998). *Handbook on Economic Analysis of Investment Operations*.
- Belli, P., Anderson, J., Barnum, H., Dixon, J., & Tan, J.-P. (2010). *Economic analysis of investment operations analytical tools and practical applications*. <https://documents.worldbank.org/en/publication/documentsreports/documentdetail/792771468323717830/Economic-analysis-of-investment-operations-analytical-tools-and-practical-applications>
- Bernuy, M. (2021). *Umbral de costo – eficacia en la inversión pública de recuperación del servicio ecosistémico de regulación hídrica en ecosistemas andinos* (Trabajo de suficiencia profesional). Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Boerema, A., Geerts, L., Oosterlee, L., Temmerman, S., & Meire, P. (2016). Ecosystem service delivery in restoration projects: The effect of ecological succession on the benefits of tidal marsh restoration. *Ecology and Society*, 21(2). <https://doi.org/10.5751/ES-08372-210210>
- Boerema, A., Rebelo, A., Bodi, M., Esler, K., & Meire, P. (2017). Are ecosystem services adequately quantified? *Journal of Applied Ecology*, 54(2), 358-370. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12696>
- Boerema, A., Van Passel, S., & Meire, P. (2018). Cost-Effectiveness Analysis of Ecosystem Management With Ecosystem Services: From Theory to Practice. *Ecological Economics*, 152, 207-218. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.06.005>

- Boyd, J. y Wainger, L. (2003). Measuring Ecosystem Service Benefits: The Use of Landscape Analysis to Evaluate Environmental Trades and Compensation. Resources for the Future, Discussion Paper. *Resources for the future*, 152.
- Brown, T., Dixon, J., & Loomis, J. (2006). Ecosystem Goods and Services: Definition, Valuation and Provision.  
[https://www.fs.fed.us/rm/value/docs/ecosystem\\_goods\\_services.pdf](https://www.fs.fed.us/rm/value/docs/ecosystem_goods_services.pdf)
- Busch, J., & Cullen, R. (2009). Effectiveness and cost-effectiveness of yellow-eyed penguin recovery. *Ecologica Economics*, 68(3), 762-776.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.06.007>
- Castillo, J. & Zhangallimbay, D. (2021). La tasa social de descuento en la evaluación de proyectos de inversión: una aplicación para el Ecuador. *Revista de la CEPAL*, 134, 77-98. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/91cab4af-bbd4-41c5-b263-3e217bd549eb/content>
- Célleri, R. (2010). *Estado del conocimiento técnico científico sobre los servicios ambientales hidrológicos generados en los Andes*, 25-46. <https://doi.org/10.13140/2.1.4585.7602>
- Claxton, K; Walker, S; Palmer, S; & Sculpher, M. (2010). Appropriate perspectives for health care decisions. *Centre for Health Economics*, 86.
- Contreras, E. (2004). *Evaluación social de inversiones públicas: Enfoques alternativos y su aplicabilidad para Latinoamérica*. Naciones Unidas, CEPAL.
- Cullen, R., Anderson, A., White, P., & Shwiff, S. (2012). Assignment of measurable costs and benefits to wildlife conservation projects. *USDA National Wildlife Research Center - Staff Publications*, 134-141. <https://doi.org/10.1071/WR12102>
- Cullen, R., Fairburn, G., & Hughey, K. (1999). COPY: A new technique for evaluation of biodiversity protection projects. *Pacific Conservation Biology*, 5.  
<https://doi.org/10.1071/PC990115>
- Cullen, R., Fairburn, G., & Hughey, K. (2001). Measuring the productivity of threatened-species programs. *Ecological Economics*, 39(1), 53-66.  
[https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(01\)00191-4](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(01)00191-4)
- Cullen, R., Moran, E., & Hughey, K. (2005). Measuring the success and cost effectiveness of New Zealand multiple-species projects to the conservation of threatened species. *Ecological Economics*, 53(3), 311-323.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2004.09.014>
- Decreto Legislativo que crea el Sistema Nacional de Programación Multianual y Gestión de Inversiones, Pub. L. No. Decreto Legislativo N° 1252, 10 (2016).

- <https://www.mef.gob.pe/es/normatividad-inv-publica/instrumento/decretos-legislativos/15603-decreto-legislativo-n-1252/file>
- Dirección General de Programación Multianual de Inversiones. (2019). *Guía General para la Identificación, Formulación y Evaluación de Proyectos de Inversión* (Primera Edición) [https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv\\_publica/docs/Metodologias\\_Generales\\_PI/GUIA\\_EX\\_ANTE\\_InviertePe.pdf](https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/docs/Metodologias_Generales_PI/GUIA_EX_ANTE_InviertePe.pdf)
- Espinoza, M. (2012). Heterogeneity in cost-effectiveness analysis: methods to explore the value of subgroups and individualized care in a collectively funded health system. Tesis Ph.D. *United Kingdom, York, 179*.
- Espinoza, M. (2017). Evaluación económica para la toma de decisiones sobre cobertura en salud: ¿que debe saber un profesional de la salud? *Chil Cardiol*, 36(2), 144-153.
- Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. (2005). *Informe de Síntesis de Evaluación de los Ecosistemas del Milenio*. <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.439.aspx.pdf>
- Fisher, B., Turner, K., Zylstra, M., Brouwer, R., De Groot, R. de, Farber, S., Ferraro, P., Green, R., Hadley, D., Harlow, J., Jefferiss, P., Kirkby, C., Morling, P., Mowatt, S., Naidoo, R., Paavola, J., Strassburg, B., Yu, D., & Balmford, A. (2008). Ecosystem services and economic theory: Integration for policy-relevant research. *Ecological Applications*, 18(8), 2050-2067. <https://doi.org/10.1890/07-1537.1>
- Fontaine, E. (2008). *Evaluación social de proyectos* (Décimo tercera). Pearson Educación. <https://www.economicas.unsa.edu.ar/iie/Archivos/Fontaine.pdf>
- Hardin, G. (1968). *The Tragedy of the Commons*. 162, 7.
- Herzog, K; Martínez, R; Jørgensen, M; Tiess, H. (2011). Climate change and biodiversity in the tropical Andes. *Inter-American Institute for Global Change Research (IAI)*. [http://www.iai.int/index.php?option=com\\_content&view=article&id=24&Itemid=73](http://www.iai.int/index.php?option=com_content&view=article&id=24&Itemid=73).
- Hughey, K., Cullen, R., & Moran, E. (2003). Integrating economics into priority setting and evaluation in conservation management. *Conservation Biology*, 17, 93-103. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2003.01317.x>
- INEI. (2017). Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas, Censo VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas. III Censo de Comunidades Nativas y I Censo de Comunidades Campesinas. Tomo II. Cajamarca, diciembre 2018.

- Interwies, E., Kraemer, A., Kranz, N., Dworak, T., Borchardt, D., Richter, S., & Willecke, J. (2004). *Basic Principles for Selecting the Most Cost-effective Combinations of Measures for Inclusion in the Programme of Measures as Described in Article 11 of the Water Framework Directive*. <https://www.ecologic.eu/11142>
- Kneese, A., & Bower, B. (1979). Environmental quality and residuals management: Report of a research program on economic, technological, and institutional aspects. *Resources for the Future*. [https://librarysearch.lse.ac.uk/primo-explore/fulldisplay/44LSE\\_ALMA\\_DS21110746910002021/44LSE\\_VU1](https://librarysearch.lse.ac.uk/primo-explore/fulldisplay/44LSE_ALMA_DS21110746910002021/44LSE_VU1)
- Krutilla, J. V., & Fisher, A. C. (1976). The Economics of Natural Environments: Studies in the Valuation of Commodity and Amenity Resources. *Land Economics*, 52(4), 567-577. <https://doi.org/10.2307/3145200>
- Labandeira, X., León, C. J., & María Xosé, V. (2007). *Economía ambiental* (Primera). Pearson educación S.A.
- Laycock, H., Moran, D., Raffaelli, D., & White, P. (2013). *Biological and operational determinants of the effectiveness and efficiency of biodiversity conservation programs*. *Wildlife Research*, 40, 142. <https://doi.org/10.1071/WR12073>
- Laycock, H., Moran, D., Smart, J., Raffaelli, D., & White, P. (2009). *Evaluating the cost-effectiveness of conservation: The UK Biodiversity Action Plan*. *Biological Conservation*, 142(12), 3120-3127. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.08.010>
- Laycock, H., Moran, D., Smart, J., Raffaelli, D., & White, P. (2011). *Evaluating the effectiveness and efficiency of biodiversity conservation spending*. *Ecological Economics*, 70(10), 1789-1796. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2011.05.002>
- Ministerio del Ambiente. (2010). *Perú: economía y diversidad biológica*. <https://old.sernanp.gob.pe/sernanp/archivos/imagenes/vida/perueconomia.pdf>
- Ministerio del Ambiente. (2020). *Servicio especializado para la elaboración de un diagnóstico del ámbito de la subcuenca El Carrasco en la cuenca de Jequetepeque para la formulación de un proyecto de inversión en recuperación del servicio ecosistémico de control de erosión de suelos*.
- Montgomery, C., Brown, G., & Adams, D. (1994). The Marginal Cost of Species Preservation: The Northern Spotted Owl. 111-128. <https://doi.org/10.1006/JEEM.1994.1007>
- Ortegón, E; Pacheco, J; & Prieto, A. (2015). *Metodología del marco lógico para la planificación, el seguimiento y la evaluación de proyectos y programas*. CEPAL.
- Ostrom, E. (2011). *El gobierno de los bienes comunes* (Segunda edición).

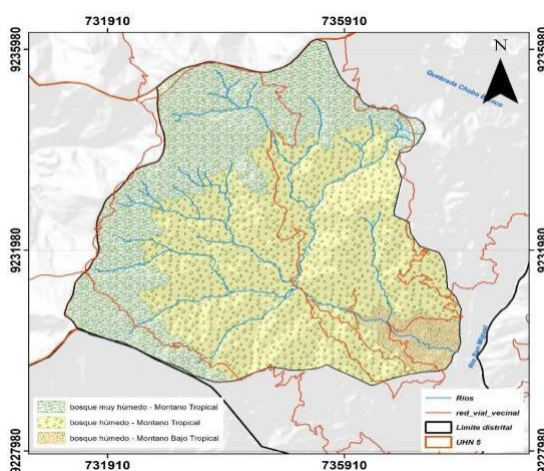
- PAHO (Organización Panamericana de la Salud) sf. *Costo Beneficio y Costo efectividad*.
- Pearce, D. (2007). Do we really care about Biodiversity? *Environmental & Resource Economics*, 37(1), 313-333.
- Pindyck, R. S., & Rubinfeld, D. L. (2010). *Microeconomía*. Pearson.
- Rubio, J. (2017). Guía para la elaboración del Análisis Costo-Beneficio en áreas protegidas. *Conservación Estratégica*, 34.
- Runar, B., Dolores, G. P., Bengt, K., & Pere, R. M. (2016). *Manual de economía ambiental y de los recursos naturales*. Ediciones Paraninfo, S.A.
- Salafsky, N., & Margoluis, R. (1999). Threat Reduction Assessment: A Practical and Cost-Effective Approach to Evaluating Conservation and Development Projects. *Conservation Biology*, 13(4), 830-841. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1999.98183.x>
- Salzman, J. (2005). *The promise and perils of payments for ecosystem services*.
- Smith, R. C., & Pinedo, D. (2002). *El cuidado de los bienes comunes: Gobierno y manejo de los lagos y bosques en la Amazonía*. Instituto de Estudios peruanos.
- Sumaila, R; Cheung, W; Lam, V; Pauly, D; Herrick, S. (2011). Climate Change Impacts on the biophysic and economics of world fisheries. *Nature Climate Change*, 28.
- SUNASS (2019). *Estudio tarifario: Empresa prestadora de servicios de saneamiento de Cajamarca Sociedad Anónima (EPS SEDACAJ S.A)*. [www.sedacaj.com/docs/est-tarifario-2019-2024.pdf](http://www.sedacaj.com/docs/est-tarifario-2019-2024.pdf)
- Tognelli, M; Lasso, C; Bota-Sierra, L; Jimenez, S; y Cox, N. (2016). *Estado de conservación y distribución de la biodiversidad de agua dulce en los andes tropicales*.
- Varian, H. (1987). *Microeconomía intermedia: Un enfoque moderno*.
- Varian, H. R. (2009). *Microeconomía intermedia: Un enfoque actual* (7.a ed.). Antoni Bosch.
- Vásquez, L; Cerda, U., & Orrego, S. (2007). *Valoración económica del ambiente: fundamentos económicos, econométricos y aplicaciones*. Thomson.
- Zicus, M., Rave, D., & Fieberg, J. (2009). Cost-Effectiveness of Single- Versus Double-Cylinder Over-Water Nest Structures. *Wildlife Society Bulletin*, 34, 647-655. [https://doi.org/10.2193/0091-7648\(2006\)34\[647:COVDO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2193/0091-7648(2006)34[647:COVDO]2.0.CO;2)

## VIII. ANEXOS

Se presenta el siguiente texto a fin de detallar información complementaria. Al respecto, para la identificación de los beneficiarios del proyecto de inversión, se está considerando la suma de los beneficiarios directos e indirectos, es decir la población de la ciudad de San Miguel que recibe el servicio de saneamiento de la EPS SEDACAJ y la población que se ubica en las zonas de “Tres Ríos” y “Nuevo Progreso” del CP “Tres Ríos”, distrito de Calquis (donde se realizará la intervención del proyecto).

### Anexo 1. Clima y Altitud

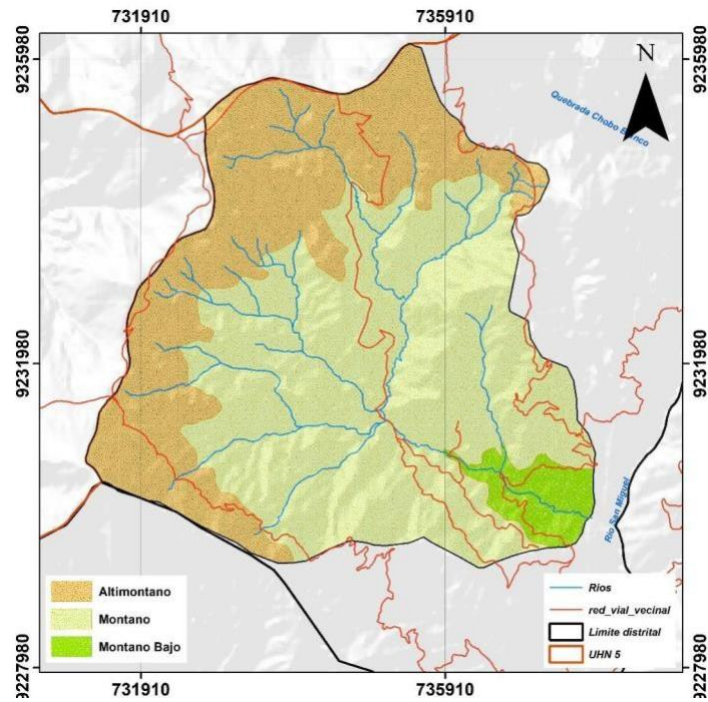
Para la elaboración de este mapa se utilizó el mapa ecológico del Perú desarrollado por la Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN) en el año 1972, digitalizando las áreas de interés, correspondiente a las zonas de vida de cada lugar, para extraer la información climática correspondiente a las macro provincias de humedad en el Perú, según su base de datos en el año 1992.



En relación a la altitud, se utilizó el Modelo de Elevación digital ALOS PALSAR 2011 de una resolución de 30 m, la cual fue reclasificada de acuerdo a la macro provincia de humedad y su relación con los pisos ecológicos.

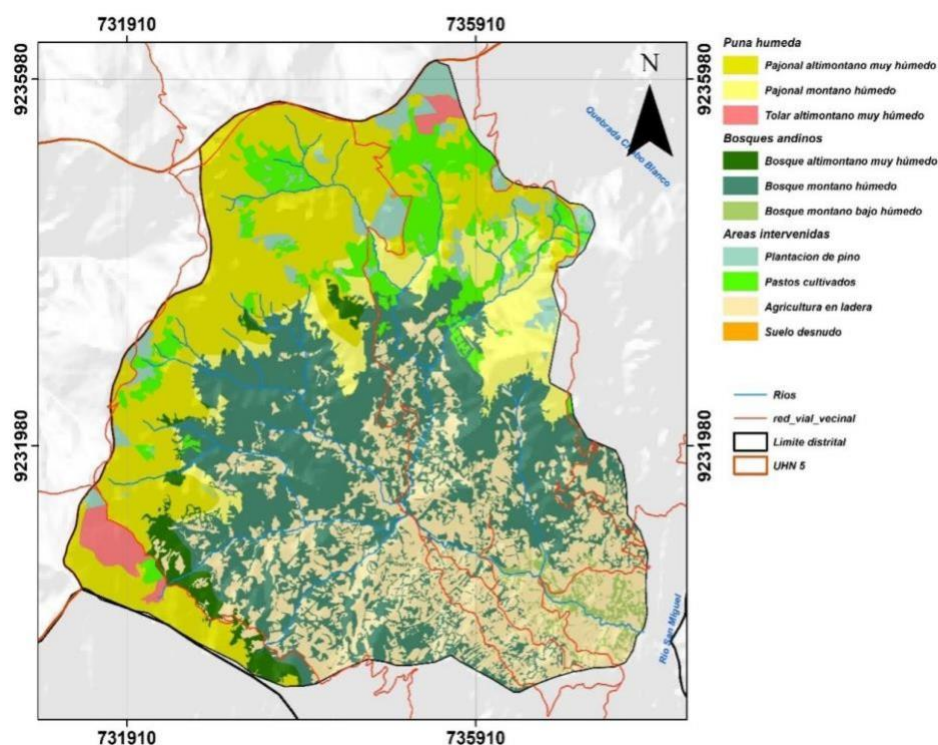


## Anexo 2. Mapa de elevaciones de la subcuenca del río El Carrasco



En función al mapa preliminar de ecosistemas y contrastando la información recopilada en el trabajo de campo, se definió el número de unidades de muestreo, de los cuales las áreas objetivo fueron las que comprenden los tipos de vegetación de pajonales, matorrales y bosques andinos, las cuales abarcan un área de 2,031.04 ha y representan el 65.92 % del área total de la microcuenca.

### Anexo 3. Mapas de elevaciones del área de estudio



### Anexo 4. Unidades de evaluación definitivas

ECOSISTEMA		SUPERFICIE (HA)	PORCENTAJE (%)	SUPERFICIE TOTAL (HA)	PORCENTAJE TOTAL (%)
Puna húmeda	Pajonal altimontano muy húmedo	722.42	23.45	953.59	30.95
	Pajonal montano húmedo	231.17	7.50		
Matorrales	Tólar altimontano muy húmedo	50.03	1.62	50.03	1.62
Bosques andinos	Bosque altimontano muy húmedo	72.99	2.37	1,027.42	33.35
	Bosque montano húmedo	907.69	29.46		
	Bosque montano bajo húmedo	46.74	1.52		
Áreas intervenidas	Plantación de pino	118.24	3.84	1,049.96	34.08
	Pastos cultivados	216.32	7.02		
	Agricultura en ladera	703.43	22.83		
	Suelo desnudo	11.97	0.39		
<b>TOTAL</b>		<b>3,081.00</b>	<b>100.00</b>	<b>3,081.00</b>	<b>100.00</b>

## Anexo 5. Análisis de cambio de la cobertura vegetal

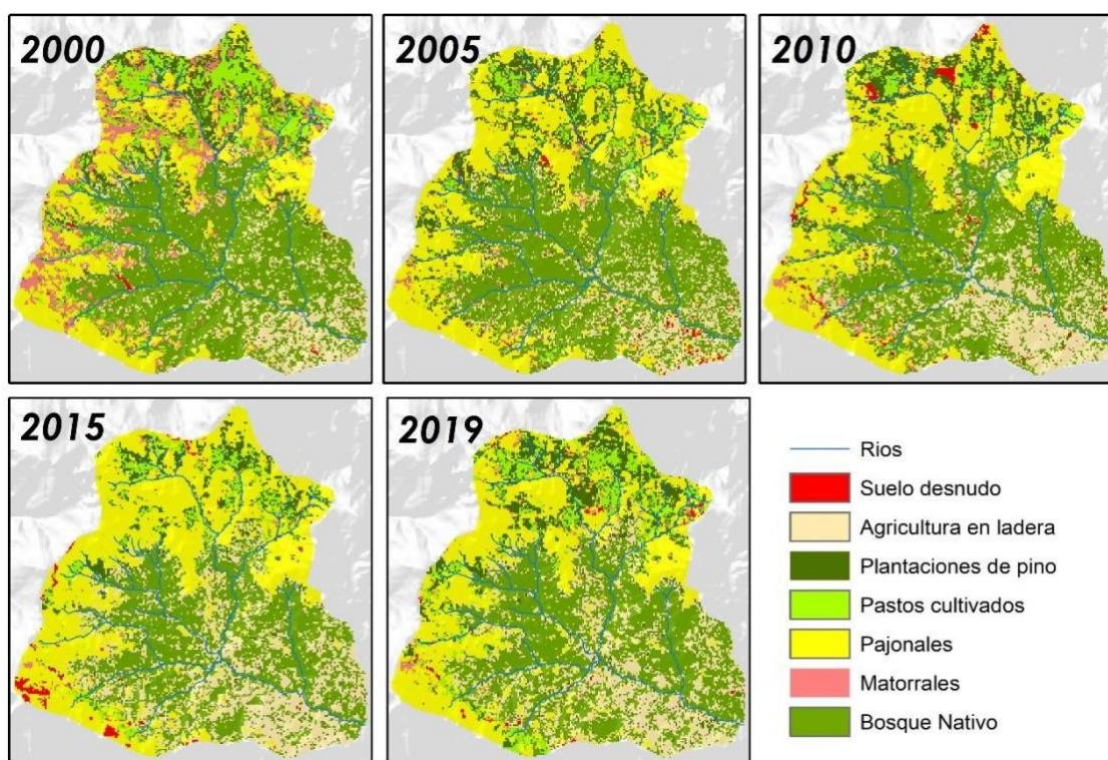
Para elaborar estos mapas se utilizó como base el mapa de cobertura vegetal actual, como áreas de entrenamiento utilizando imágenes corregidas a reflectancia superficial del sensor Landsat 5 TM, y Landsat 8 OLI, reducidas por la mediana para los años 2000, 2005, 2010, 2015 y 2019. Como predictores, se utilizaron las bandas correspondientes a las longitudes de onda de los espectros Azul, verde, rojo, infrarrojo cercano, infrarrojo de onda corta 1, e infrarrojo de onda corta 2, adicionada a una banda de NDVI creada con la misma imagen para cada año analizado.

## Anexo 6 Características de bandas de los sensores Landsat 5TM y Landsat 8 OLI

Landsat 4-5 Thematic Mapper (TM)			Landsat 8-9 Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS)		
Bandas	Longitud de onda	Resolución	Bandas	Longitud de onda	Resolución
	(micrómetros)	(metros)		(micrómetros)	(metros)
Banda 1	0.45-0.52	30	Banda 1 - Coastal aerosol	0.43-0.45	30
Banda 2	0.52-0.60	30	Banda 2 - Blue	0.45-0.51	30
Banda 3	0.63-0.69	30	Banda 3 - Green	0.53-0.59	30
Banda 4	0.76-0.90	30	Banda 4 - Red	0.64-0.67	30
Banda 5	1.55-1.75	30	Banda 5 - Near Infrared (NIR)	0.85-0.88	30
Banda 6	10.40-12.50	120 (30)	Banda 6 - SWIR 1	1.57-1.65	30
Banda 7	2.08-2.35	30	Banda 7 - SWIR 2	2.11-2.29	30
			Banda 8 - Panchromatic	0.50-0.68	15
			Banda 9 - Cirrus	1.36-1.38	30
			Banda 10 - Thermal Infrared (TIRS) 1	10.6-11.19	100
			Banda 11 - Thermal Infrared (TIRS) 2	11.50-12.51	100

Se utilizó el algoritmo de Aprendizaje automático, Random Forest, con 100 árboles de decisión, para implementar el modelo de clasificación supervisada de las imágenes multitemporales en la plataforma de Google Earth Engine, siendo la precisión global de las clasificaciones mayores al 80%.

**Anexo 7. Distribución espacial y temporal de coberturas en la subcuenca del río El Carrasco para los años 2000, 2005, 2015 y 2019.**



En el año 2000, las zonas más altas de la subcuenca la cobertura predominante era la de pajonales y tólares, los cuales abarcan el 20.89 y 9.51 % de la superficie total , así mismo se observa una gran apertura de áreas de pastos cultivados en áreas de pajonales, en la zona intermedia la cobertura predominante es la de bosques nativos (40.04 %) con poca intervención de agricultura (11.98 %), la cual se va desarrollando principalmente en la parte baja de la cuenca, así mismo se observa plantaciones de pino que abarcan un 7.53 % de la superficie.

En el año 2005, se observa un incremento drástico de las áreas de pajonales y pérdida de áreas de tólares, así como el abandono de áreas de pastos cultivados, los cuales son colonizados por pajonales, de la misma manera se observa un ligero incremento de las áreas de plantaciones de pinos y de áreas de suelo desnudo; las áreas de bosques nativos y de agricultura en ladera se mantienen relativamente constantes.

En el año 2010 respecto al año 2005 se observa una pérdida de bosques nativos e incremento de las áreas agrícolas, así como una mayor área de plantaciones de pino y áreas de suelo desnudo, la cual coincide con la apertura de una trocha carrozable alrededor y en el centro de la microcuenca.

En el año 2015 se observa una ampliación de la frontera agrícola en áreas de bosques nativos, así como el abandono de áreas de pastos cultivados, y disminución de plantaciones de pinos.

En el año 2019, se observa un ligero aumento de áreas de bosques nativos, por abandono de algunas parcelas agrícolas en el intermedio de la microcuenca, así como la disminución de áreas de pajonales, por ampliación de áreas de pastos cultivados y colonización de tólares.

#### **Anexo 8. Distribución de cambios en las coberturas vegetales y uso del suelo en la subcuenca del río El Carrasco**

AÑO		Bosque nativo	Pajonales	Agricultura en ladera	Pastos cultivados	Tolares	Plantaciones de pino	Suelo desnudo
2000	Área (ha)	1,233.59	643.67	368.97	300.82	293.09	231.97	8.88
	%	40.04	20.89	11.98	9.76	9.51	7.53	0.29
2005	Área (ha)	1,245.49	958.80	365.68	65.57	134.51	284.57	26.39
	%	40.43	31.12	11.87	2.13	4.37	9.24	0.86
2010	Área (ha)	1,058.03	985.09	514.94	48.69	122.34	304.47	47.44
	%	34.34	31.97	16.71	1.58	3.97	9.88	1.54
2015	Área (ha)	868.89	1,110.36	652.38	19.63	173.24	221.13	35.36
	%	28.20	36.04	21.17	0.64	5.62	7.18	1.15
2019	Área (ha)	987.05	861.25	556.25	45.67	267.33	345.33	18.12
	%	32.04	27.95	18.05	1.48	8.68	11.21	0.59

Es resaltante que áreas de agricultura en ladera en abandono o por manejo de linderos retoman la configuración de bosques nativos en el intermedio y parte baja de la cuenca, empujando la frontera agrícola hacia nuevas áreas de bosques nativos, con el fin de mantener una proporción similar de áreas agrícolas.

La cobertura que más ha sido impactada por la construcción de caminos es la de pajonales (11.73 ha). Por otra parte, una gran proporción de áreas de pastos cultivados se han destinado par plantaciones de pino (108.83). Así mismo es resaltante que plantaciones fallidas de pinos, retoman la configuración de áreas de pajonales (98.08 ha)

En resumen, los mayores cambios de cobertura entre el año 2000 y 2019 se dan principalmente desde áreas de bosques nativos a áreas de agricultura en ladera (299.93 ha), a una razón de cambio de 15.78 ha por año, así mismo algunas áreas de bosques nativos se han utilizado para el uso de pastos cultivados (31.72 ha), de los cuales algunos en abandono se han convertido en pajonales (40.87 ha), y otros en áreas de plantaciones de pino (53.66).

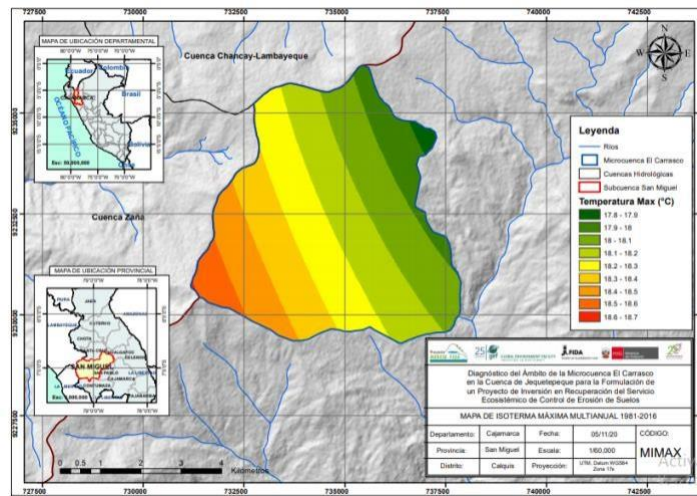
**Anexo 9. Matriz de cobertura del suelo y superficie de uso del suelo (ha) convertida entre 2000 y 2019 en la subcuenca del río El Carrasco**

		2019							TOTAL
		BN	T	PJ	PC	PP	AG	SD	
2000	Bosque nativo (BN)	804.65	2.49	40.87	31.72	53.66	299.93	0.27	1,233.59
	Tólares (T)	16.52	19.46	161.52	38.74	41.31	22.39	0.89	300.82
	Pajonales (PJ)	9.06	7.37	500.10	46.38	44.60	24.43	11.73	643.67
	Pastos cultivados (PC)	12.70	7.55	37.58	114.07	108.83	11.46	0.89	293.09
	Plantaciones de pino (PP)	4.62	7.64	98.08	32.07	74.10	12.79	2.67	231.97
	Agricultura en ladera (AG)	137.17	1.15	22.39	3.64	22.30	181.15	1.15	368.97
	Suelo desnudo (SD)	2.31	-	0.71	0.71	0.53	4.09	0.53	8.88
	<b>TOTAL</b>	<b>987.05</b>	<b>45.67</b>	<b>861.25</b>	<b>267.33</b>	<b>345.33</b>	<b>556.25</b>	<b>18.12</b>	<b>3,081.00</b>

**Temperatura**

La temperatura media anual es entre 13.4°C a 13.8°C para la zona de la subcuenca El Carrasco, los valores van aumentando conforme incrementa la altitud, teniéndose una temperatura media anual de 13.5°C. Como valores máximos de temperatura estas oscilan entre 18.25 a 18.7 °C, mientras que los valores mínimos, entre 8.6 a 8.95 °C.

## Anexo 10. Mapa de isoterma máxima multianual periodo 1981-2016

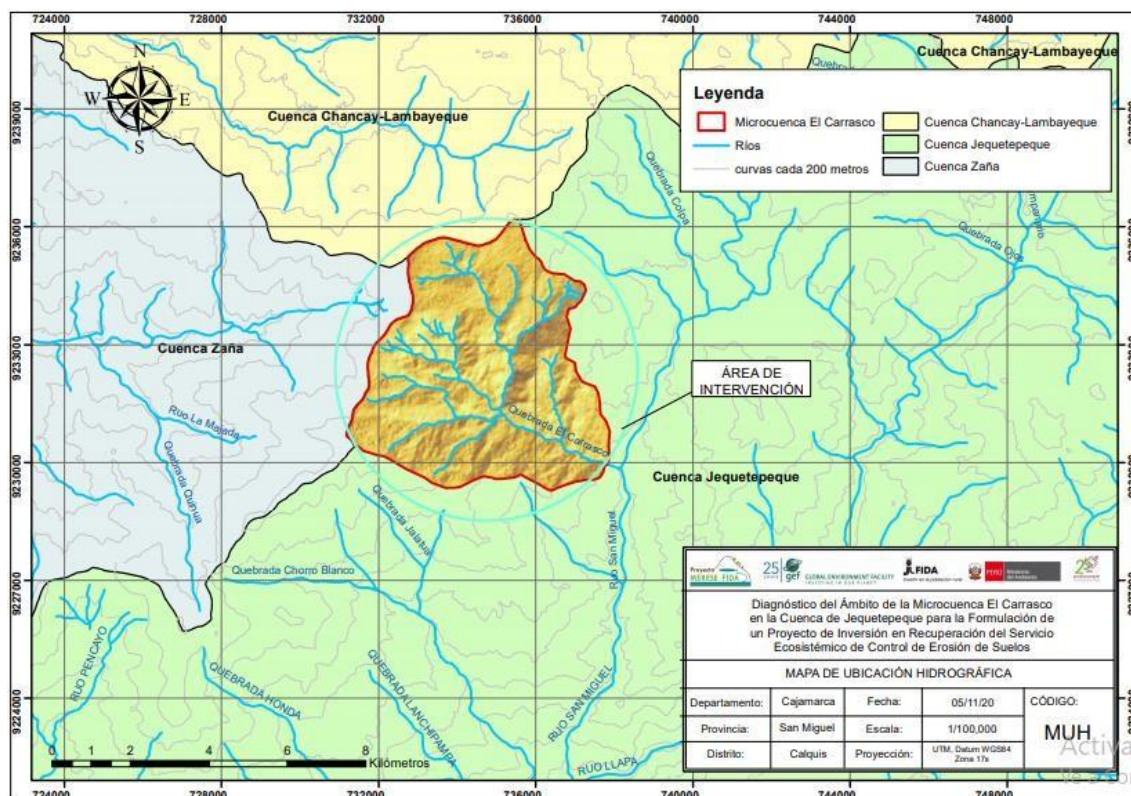


### Hidrografía

La Subcuenca que abarca la microcuenca de estudio es la llamada San Miguel la cual tiene aproximadamente un área total de 1041.17 km<sup>2</sup>, el cual comprende de ocho distritos de las provincias de San Miguel, San Pablo y Cajamarca, del departamento de Cajamarca, de los cuales, el distrito de Tumbaden comprende el 24.4 % del área total de la Subcuenca; el distrito de San Miguel representa el 20.4%, el distrito de Llapa representa el 13.5%; el distrito de San Silvestre de Cochan representa el 12.9%, el distrito de Cajamarca representa el 12%, el distrito de San Pablo representa el 7.1%, el distrito de Calquis representa el 5.6%, el distrito de San Luis representa el 4.1% del área total de la subcuenca.

El área de la subcuenca del río El Carrasco es de 30.793 km<sup>2</sup>, los cuales comprende el 2.96% del área total de la Subcuenca de San Miguel. Esta microcuenca se encuentra ubicada en el Nor-Oeste respecto a la Subcuenca de San Miguel, teniendo como límite en el Norte a la Cuenca Chancay-Lambayeque, en el lado Oeste a la Cuenca Zaña, y en el Sur y Este a la Subcuenca de San Miguel. Se visualiza en la Figura N°2 que el río de El Carrasco intercepta en la parte inferior derecha de la microcuenca con el río de San Miguel, dando lugar a la Subcuenca de San Miguel.

## Anexo 11. Mapa de ubicación hidrográfica de la subcuenca del río El Carrasco



Para el estudio y determinación de los parámetros geomorfológicos, tales como área total, perímetro, longitud, altura máxima, altura mínima, etc., se utilizó el modelo digital de elevación ALOS PALSAR con resolución espacial de 30 metros.

La pendiente de la cuenca es un Parámetro importante en el estudio de la cuenca ya que posee una relación relevante y compleja con la infiltración, la escorrentía superficial, humedad del suelo y la contribución del agua subterránea a la escorrentía. Es uno de los factores que controla el tiempo de escurrimiento y concentración de la lluvia en los canales de drenaje, además posee una importancia directa en relación a la magnitud de las crecidas.

Teniendo los valores de pendientes tanto del método de rectángulo equivalente como número de ocurrencia, se procedió a realizar un promedio de ellas para obtener el pendiente total asumido de la cuenca de estudio que es de 20.83% originado por la precipitación en el sistema de cauces que fluye a la salida de la microcuenca. Existe diferencia entre una microcuenca grande y una microcuenca pequeña en cuanto a la respuesta hidrológica. En una microcuenca pequeña la respuesta hidrológica estará condicionada al suelo y cobertura vegetal, en cambio en una microcuenca grande la respuesta estará condicionada a la hidrología del cauce principal.



Se obtuvieron datos de caudales desde el año 2019 al 2020 por medio de la EPS SEDACAJ S.A.C. En su mayoría, los valores de caudales tienden a representar el valor de 600 m<sup>3</sup>/día; sin embargo, se tiene que para los meses de enero, febrero y marzo del año 2019 los valores de los caudales ingresados a la planta de tratamiento fueron entre 1000 a 1600 m<sup>3</sup>/día, y solo del mes de enero en el año 2020 se ingresó 1600 m<sup>3</sup>/día aproximadamente. Los valores de caudales de salida para todos los meses de los años analizados oscilaron entre los valores de 600 a 700 m<sup>3</sup>/día, teniendo excepciones en los meses de enero para ambos años, llegando a valores de 800 m<sup>3</sup>/día.

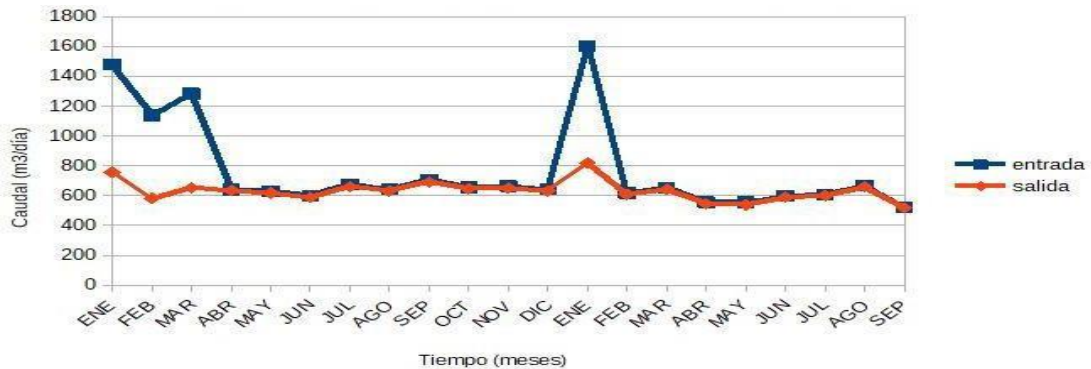
#### **Anexo 12. Caudales de entrada promedios mensuales (m<sup>3</sup>/día)**

<b>AÑOS</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>
<b>2019</b>	1478.06	1137.86	1282.5	640.67	631.29	600.53	676.1	643.81	707.37	656.6	664.83	643.94
<b>2020</b>	1602.19	617.72	653.48	555.5	557.1	598.03	607.39	665.97	521.07			

#### **Anexo 13. Caudales de salida promedios mensuales (m<sup>3</sup>/día)**

<b>AÑOS</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>
<b>2019</b>	756.4 2	582.6 1	653.7 4	635.5 3	618	589. 5	661.5 5	631.4 5	691.3 7	645.8 7	651. 3	631.8 1
<b>2020</b>	818.5 5	609.9 7	644.3 5	545.3 7	538.5 5	590. 1	599.5 2	659.1 9	519.3 3			

#### Anexo 14. Diagrama de caudales promedios mensuales (2019-2020)



#### Precipitación

En la subcuenca del río El Carrasco se consideró la información proporcionada de trece estaciones climáticas, de las cuales diez de ellas proporcionó información de precipitaciones y otras tres proporcionaron información climática de temperatura máxima, mínima y promedio. Estas informaciones fueron consultadas a través del producto PISCO (Peruvian Interpolation of the SENAMHI Climatological and Hydrological Stations). Se puede observar los valores de latitud, longitud, altitud y ubicación política para cada una de las estaciones observadas. Los datos evaluados fueron realizados para el periodo de registro de 1981-2016, teniendo un total de 36 años de información de lluvias.

El comportamiento de las precipitaciones en la subcuenca del río El Carrasco muestra que a partir de los meses de septiembre a marzo se incrementan estos por el periodo de avenida, ya a partir del mes de abril decrece. El mes que tiene mayores cantidades de precipitación es el mes de marzo. Los meses que tienen baja o nula cantidad de precipitación son los meses de junio, julio y agosto.

## Anexo 15. Proyección de la demanda de sedimentos

Captación en San Miguel (Información Estudios Territorio)												
	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2027	2027	2034
Demanda	5,616.04	4,413.29	5,014.66	5,014.66	5,014.66	5,014.66	5,014.66	5,014.66	5,014.66	5,014.66	5,014.66	5,014.66
10.00 l/s												
26,280,000.00 l/mes												
1g/ml = 3NTU												
NTU de sedimentos en la PTA de San Miguel												
NTU	cg/ml	cg/l	cg/mes	g/mes	kg/mes	TW/mes	Total					
ENE	3.15	1.05	1050.00	27,594,000,000.00	275,940,000.00	275.94	1	1,147,402,453				
FEB	4.39	1.46	1463.33	38,456,400,000.00	384,564,000.00	384.56	2	1,479,929,227	1,289,285			
MAR	4.75	1.58	1583.33	41,610,000,000.00	416,100,000.00	416.10	3	1,558,144,618	1,053,278			
ABR	5.69	1.90	1896.67	49,844,400,000.00	498,444,000.00	498.44	4	1,738,710,248	1,115,885			
MAY	6.02	2.01	2066.67	52,735,200,000.00	527,352,000.00	527.35	5	1,795,087,259	1,032,425			
JUN	7.98	2.66	2660.00	69,904,800,000.00	699,048,000.00	699.05	6	2,076,938,411	1,157,013			
JUL	7.39	2.46	2463.33	64,736,400,000.00	647,364,000.00	647.36	7	2,000,127,735	963,017			
AGO	5.33	1.78	1776.67	46,690,800,000.00	466,908,000.00	466.91	8	1,673,351,238	836,622			
SEP	4.8	1.60	1600.00	42,048,000,000.00	420,480,000.00	420.48	9	1,568,615,918	893,740			
OCT	4.23	1.41	1410.00	37,054,800,000.00	370,548,000.00	370.55	10	1,442,201,993	819,941			
NOV	5.46	1.82	1820.00	47,823,600,000.00	478,296,000.00	478.30	11	1,697,448,790	1,176,984			
DIC	4.92	1.64	1640.00	43,099,200,000.00	430,992,000.00	430.99	12	1,593,085,531	938,649			
ENE	4.02	1.34	1340.00	35,215,200,000.00	352,152,000.00	352.15	13	1,391,281,903	873,203			
FEB	2.34	0.78	780.00	20,498,400,000.00	204,984,000.00	204.98	14	850,150,929	611,056			
MAR	3.05	1.02	1016.67	26,718,000,000.00	267,180,000.00	267.18	15	1,115,141,591	1,311,698			
ABR	2.73	0.91	910.00	23,914,800,000.00	239,148,000.00	239.15	16	1,004,301,609	900,605			
MAY	2.75	0.92	916.67	24,090,000,000.00	240,900,000.00	240.90	17	1,011,600,912	1,007,268			
JUN	4.51	1.50	1503.33	39,507,600,000.00	395,076,000.00	395.08	18	1,506,297,154	1,489,023			
JUL	4.33	1.44	1443.33	37,993,800,000.00	379,308,000.00	379.31	19	1,465,567,542	972,960			
AGO	4.61	1.54	1536.67	40,383,600,000.00	403,836,000.00	403.84	20	1,528,278,57	1,042,755			
SEP	6.55	2.18	2183.33	57,378,000,000.00	573,780,000.00	573.78	21	1,879,465,050	1,229,833			
OCT	5.16	1.72	1721.11	45,230,800,000.00	452,308,000.00	452.31	22	1,928,434,210	1,026,055	1,024,005,063,1449		
NOV	5.16	1.72	1721.11	45,230,800,000.00	452,308,000.00	452.31	23	1,978,877,131	1,026,157	1,024,005,073,6523		
DIC	5.16	1.72	1721.11	45,230,800,000.00	452,308,000.00	452.31	24	2,039,084,258	1,026,260	1,024,005,084,1608		
2020							4,413.29					