

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**LA MOLINA**

**FACULTAD DE CIENCIAS**



**“PLAN DE COMPENSACIÓN AMBIENTAL DE LOS BOFEDALES  
BF 18 Y BF-19 EN LA UNIDAD MINERA SAN RAFAEL”**

Trabajo de Suficiencia Profesional para Optar el Título de:

**INGENIERO AMBIENTAL**

**LUIS MIGUEL BOZA CHAPPUIS**

Lima – Perú

**2024**

---

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

# 16..Luis Boza - TSP Plan de compensación ambiental (1).docx

## INFORME DE ORIGINALIDAD

19%

INDICE DE SIMILITUD

17%

FUENTES DE INTERNET

8%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="https://repositorio.lamolina.edu.pe">repositorio.lamolina.edu.pe</a> Fuente de Internet	3%
2	Submitted to Universidad Catolica Los Angeles de Chimbote Trabajo del estudiante	3%
3	Submitted to Universidad Ricardo Palma Trabajo del estudiante	2%
4	<a href="https://cdn.www.gob.pe">cdn.www.gob.pe</a> Fuente de Internet	1%
5	Joaquín José Taverner Aparicio. "A BDI Empathic Agent Model Based on a Multidimensional Cross-Cultural Emotion Representation", Universitat Politecnica de Valencia, 2022 Publicación	1%
6	Bringas, Evelin Sugeit Shajaira Sánchez   Centeno, Félix Franklin Montufar   Becerra, Genaro Exequiel Suárez   Guerrero et al. "Consultoría de Negocio a la Empresa Geos Ingenieros S.R.L", Pontificia Universidad	1%



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**“PLAN DE COMPENSACIÓN AMBIENTAL DE LOS BOFEDALES  
BF 18 Y BF-19 EN LA UNIDAD MINERA SAN RAFAEL”**

Trabajo de Suficiencia Profesional para Optar el Título Profesional de:

**INGENIERO AMBIENTAL**

Presentado por:

**LUIS MIGUEL BOZA CHAPPUIS**

Sustentada y aprobado por el siguiente jurado:

---

Dr. Ernesto Ever Menacho Casimiro  
PRESIDENTE

---

Ph.D. Diego Alejandro Sotomayor Melo  
MIEMBRO

---

M.Sc. Armando Javier Aramayo Bazzetti  
MIEMBRO

---

Mg. Sc. Víctor Raúl Miyashiro Kiyari  
ASESOR

## **AGRADECIMIENTOS**

*A mi asesor de tesis y al jurado, y a toda la plana docente de la UNALM por el gran trabajo que hacen por todos. También a mi esposa por su tiempo y paciencia, sin ella no lo hubiera logrado.*

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	vi
ABSTRACT .....	viii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Objetivos .....	1
1.1.1.Objetivo general.....	1
1.1.2.Objetivos específicos .....	2
II. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1 Definiciones.....	3
2.2 Minería en Perú.....	3
2.3 Unidad Minera San Rafael y el Proyecto B2.....	6
2.4 Humedales altoandinos .....	10
2.5 Normativa ambiental vigente relevante.....	14
2.6 Ejemplos de compensación ambiental en Perú.....	17
III. METODOLOGÍA.....	19
3.1 Información de línea base en el área de estudio de la MEIA .....	19
3.1 Selección del bofedal a compensar .....	20
3.2 Estimación de pérdidas y ganancias .....	21
3.3 Estimación del estado de salud o valor ecológico .....	24
IV. RESULTADOS .....	26
4.1 Contexto laboral.....	26
4.2 Resultados de la estimación del valor ecológico .....	27
4.3 Resultados de la estimación del valor ecológico total .....	30
4.4 Resultados de la estimación del valor ecológico ganado después de las medidas de compensación ambiental y unidades de compensación.....	30
4.5 Medidas, plazos y recursos para la compensación ambiental .....	30
4.5.1 Medidas de restauración.....	30
4.5.2 Medidas de conservación .....	32
4.5.3 Análisis de riesgos e incertidumbres del proyecto .....	33

4.5.4 Indicadores de éxito .....	36
4.5.5 Asignación de responsabilidades y responsables .....	36
4.6. Proyección del estado y valor ecológico .....	37
4.7. Resultados esperados.....	38
4.8. Cronograma y presupuesto .....	42
4.9. Discusión de resultados .....	44
V. CONCLUSIONES .....	46
VI. RECOMENDACIONES .....	47
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48
VIII. ANEXOS.....	52



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Nivel de producción de principales metales en Perú y su valor de exportaciones en el 2019. ....	4
Tabla 2: Presupuesto y cronograma de ejemplos de compensación ambiental en Perú .....	18
Tabla 3: Estimación del valor ecológico .....	27
Tabla 4: Riesgo de pérdida de especies de flora del ecosistema bofedal a ser compensado .....	33
Tabla 5: Aspectos clave para el éxito del plan de compensación.....	36
Tabla 6: Asignación de responsabilidades .....	37
Tabla 7: Evaluación de todos los atributos e indicadores del plan de compensación del bofedal .....	40
Tabla 8: Presupuesto de implementación de bofedal.....	43
Tabla 9: Comparación de costo por hectárea de área a compensar .....	45

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de principales unidades en producción minera. ....	5
Figura 2: Ubicación de la Unidad Minera San Rafael. ....	7
Figura 3: Distribución de componentes de la MEIA de la UMSR. ....	9
Figura 4: Ubicación de bofedales BF-18 y BF-19 con respecto al Depósito de Relaves. ....	10
Figura 5: Mapa de Humedales en Peru. ....	13
Figura 6: Esquema de los pasos lógicos a seguir durante una evaluación ambiental. ....	16
Figura 7: Línea de tiempo de evolución de normativa ambiental aplicable.....	16
Figura 8: Bofedal BF-02 a compensar. ....	20
Figura 9: Escala del valor ecológico. ....	21
Figura 10: Cálculo de VET antes del impacto.....	22
Figura 11: Cálculo de pérdida del VE del bofedal por impacto. ....	22
Figura 12: Cálculo de del VET ganado.....	23
Figura 13: Cálculo de las unidades de compensación.....	23
Figura 14: Atributos e indicadores para evaluar el valor ecológico. ....	25
Figura 15: Valorización ecológica del bofedal de referencia. ....	28
Figura 16: Valorización ecológica del bofedal a impactar.....	29
Figura 17: Valorización ecológica del bofedal a compensar. ....	29
Figura 18: Bienes y servicios sustitutos asociados al plan de compensación .....	38
Figura 19: Descripción conceptual de los indicadores por cada atributo .....	39
Figura 20: Cronograma de implementación.....	42
Figura 21: VE de los bofedales del plan de compensación de la MEIA del proyecto La Arena.....	44
Figura 22: VE de los bofedales del plan de compensación de la MEIA del proyecto Antapacay Expansión Tintaya – Integración Corocchohuayco. ....	44

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Fichas del inventario de bofedales.....	53
Anexo 2: Norma técnica peruana .....	133
Anexo 3: Estrategia de Manejo Ambiental del MEIA.....	150

## RESUMEN

El sector minero en el Perú es uno de sus principales motores económicos del país por diferentes razones (empleabilidad, pagos al estado, compra de bienes, entre otros), pero también es una de las actividades que puede generar mayores impactos negativos al ambiente y poblaciones si es que sus actividades no son manejadas adecuadamente, tanto en su etapa exploratoria como operativa.

La normativa ambiental peruana en materia minera ha ido evolucionando a lo largo de los años, generando leyes y normas que han demarcado los pasos que los titulares de proyectos y operaciones mineras deben seguir para poder desarrollar sus actividades, en los aspectos ambientales como constructivos y operativos. En cuanto a la normativa ambiental, las normas sectoriales han rescatado poco a poco aspectos cada vez más específicos en búsqueda de evitar impactos que sean irreversibles. Es así como en el 2011 el Ministerio del Ambiente promulga una ley en la que obliga a los titulares a contar con una Estrategia de Manejo Ambiental en todos sus proyectos, incluyendo un plan de compensación de ser el caso. Posteriormente, en el 2016, este ministerio publica una resolución ministerial en la que establece la guía para elaborar planes de compensación que todo titular debe tomar como referencia.

La compensación ambiental no es algo que los titulares de proyectos de inversión deban de tomar como principal medida para mitigar impactos, por el contrario, debe ser la última alternativa de solución frente a un impacto que, por su naturaleza, no puede ser reducido efectivamente con otras medidas de control de mayor jerarquía, como prevención, mitigación, recuperación o restauración.

Normalmente, los ecosistemas cuyo impacto no puede ser evitado o reducido eficazmente son los ecosistemas frágiles que brindan servicios ecosistémicos claves para el desarrollo del ambiente a su alrededor. Un caso claro de estos ecosistemas son los humedales altoandinos, también conocidos como bofedales, los cuales son recursos de un valor enorme en nuestro país y el mundo y que actualmente se están viendo afectados a nivel mundial por el calentamiento global y actividades antropogénicas.

En base a la experiencia laboral adquirida por el autor del presente Trabajo de Suficiencia Profesional durante la elaboración de la Modificación del Estudio de Impacto Ambiental de



la Unidad Minera San Rafael para MINSUR S.A., se ha compilado las actividades y resultados obtenidos para desarrollar su Plan de Compensación Ambiental. El objetivo de este plan es el de equiparar ambientalmente la pérdida de bofedales debido a la construcción de un nuevo depósito de relaves, mejorando las condiciones ambientales de otro bofedal en mal estado.

El presente trabajo muestra la importancia de realizar un adecuado plan de compensación en aras de lograr reponer todos servicios ecosistémicos que se perderán, y así reducir los impactos negativos a niveles residuales aceptados por la normativa nacional

**Palabras clave:** Plan de compensación ambiental, humedal altoandino, bofedal, valor ecológico, servicios ecosistémicos.

## **ABSTRACT**

The mining sector in Peru is one of the main economic engines of the country for different reasons (employability, payments to the state, purchase of goods, among others), but it is also one of the activities that can generate the biggest negative impacts on the environment and dwellers if their activities are not properly managed, both in their exploratory and operational stages.

Peruvian environmental regulations in mining matters have evolved over the years, generating laws and regulations that have demarcated the steps that the owners of mining projects and operations must follow in order to carry out their activities, in environmental, constructive and operational aspects. Regarding environmental regulations, sectoral regulations have gradually rescued increasingly specific aspects in search of avoiding irreversible impacts. Thus, in 2011 the Ministry of the Environment promulgated a law in which it obliges the owners to have an Environmental Management Strategy in all their projects, including a compensation plan, if applicable. Subsequently, in 2016, this ministry publishes a ministerial resolution in which it establishes the guide to develop compensation plans that every owner must take as a reference.

Environmental compensation is not something that investment project holders should take as their main activity to mitigate impacts, on the contrary, it should be the last alternative solution to an impact that, by its nature, cannot be effectively reduced with the other higher-ranking control measures, such as prevention, mitigation, recovery or restoration.

Normally, the ecosystems whose impact cannot be effectively avoided or reduced are fragile ecosystems that provide key ecosystem services for the development of the environment around them. A clear case of these ecosystems are the high Andean wetlands, which are resources of enormous value in our country and the world and which are currently being affected worldwide by global warming and anthropogenic activities.

Based on the work experience acquired by the author of this Dissertation on Professional Sufficiency during the preparation of the Modification of the Environmental Impact Study of the San Rafael Mining Unit for MINSUR S.A., the activities and results obtained to develop its Environmental Compensation Plan have been compiled. The objective of this

plan is to environmentally match the loss of wetlands due to the construction of a new tailings deposit, improving the environmental conditions of another wetland in poor condition.

This work shows the importance of carrying out an adequate compensation plan in order to restore all ecosystem services that will be lost, and in this way, reduce the negative impacts to residual levels accepted by national regulations.

**Keywords:** Environmental compensation plan, high Andean wetlands, wetlands, ecological value, ecosystem services.

## **I. INTRODUCCIÓN**

El presente Trabajo de Suficiencia Profesional (TSP) ha sido elaborado en el marco de la experiencia adquirida y capacidades demostradas durante el ejercicio de la carrera de Ingeniería Ambiental para resolución de la problemática encontrada entre la afectación de un proyecto minero a un ecosistema frágil, como es un humedal altoandino (bofedal), y su potencial compensación ambiental bajo la normativa nacional vigente.

Una de las labores desempeñadas en MINSUR S.A. como Jefe de Medio Ambiente y Permisos (2016-2019) fue la de coordinar la elaboración y aprobación de la Modificación de Estudio de Impacto Ambiental el Proyecto de Reaprovechamiento de Relaves de la Unidad Minera Nueva Acumulación Quenamari-San Rafael (en adelante MEIA de la U.M. San Rafael), en la cual se evaluó la afectación de dos bofedales por la construcción de componentes mineros, para lo cual fue necesario la elaboración de un Plan de Compensación Ambiental específico.

En este sentido, en el presente TSP se sustentará la suficiencia profesional demostrada durante el desarrollo de dicho plan de compensación ambiental, desde los trabajos de campo realizados hasta la presentación de las medidas concretas y medibles para asegurar el funcionamiento de dicho plan.

Este trabajo también tiene como finalidad dejar un precedente y modelo para futuros proyectos de compensación ambiental de bofedales, de manera que se tome como experiencia y de esta manera los próximos planes de compensación sean más precisos y reales para lograr el objetivo principal de reducir los impactos ambientales producto de la actividad minera y se conserven los servicios ecosistémicos en la naturaleza.

### **1.1 Objetivos**

#### **1.1.1. Objetivo general**

Elaborar un plan de compensación ambiental para los bofedales ubicados en la U.M. San Rafael afectados por la construcción de un depósito de relaves.



### 1.1.2. Objetivos específicos

- Estimar el valor ecológico de los bofedales impactados y del bofedal a compensar para calcular las unidades de compensación, siguiendo la metodología de compensación del MINAM.
- Determinar medidas de compensación de acuerdo a las características particulares de los bofedales afectados, el bofedal a compensar y su entorno.
- Proponer actividades de monitoreo del plan de compensación con la con la finalidad de evaluar su eficacia.

## **II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Definiciones**

Antes de iniciar con el desarrollo del marco teórico, es importante dejar clara la definición de algunas palabras claves que son de relevancia para el presente estudio:

- Área a compensar: área donde se desarrollarán las acciones de compensación, la cual se determina haciendo uso de los principios de compensación.
- Estado de conservación: estado que muestra la situación del ecosistema en referencia a sus funciones ecológicas y procesos.
- Valor ecológico: valor que muestra el estado de un ecosistema con respecto a su conservación.
- Valor ecológico total: valor ecológico que representa el estado de conservación de un ecosistema multiplicado por las unidades de compensación.
- Unidades de compensación: área expresada en hectáreas del ecosistema afectado que es utilizada para establecer el valor ecológico total de un ecosistema.

### **2.2 Minería en Perú**

Está claro que el Perú es un país minero, tanto por su historia como por su relevancia en la economía nacional. Sólo en el año 2019, el aporte de la minería al Producto Bruto Interno (PBI) al país fue de 8.6%, lo que equivale a 757,060 millones de nuevos soles (INEI, 2019). Su aporte económico se puede ver en el PBI, pero también en los impuestos del canon minero, regalías y derechos de vigencia (S/. 4,643,551,329 en el año 2019) y en la generación de empleos directos (208,716 en el 2019) e indirectos.

De acuerdo con Salas & Diez, (2018) las inversiones mineras en el país han sufrido un efecto multiplicador en los últimos diez años debido al aumento en el precio de los metales. Esto ha sido apoyado por las políticas de estado para incentivar la inversión privada, en especial la inversión extranjera para la minería. Este incremento de inversiones se ve claramente reflejado en la cartera que maneja el Ministerio de Energía y Minas (MINEM), cuyo valor

en el año 2019 fue de 498.6 millones de dólares para inversiones dentro de unidades mineras que ya se encuentran en operación, y 57,772 millones de dólares en proyectos mineros por construir (MINEM, 2020).

En cuanto a los minerales económicamente atractivos predominantes en nuestro país, se destacan el cobre, oro, zinc, plata, plomo, hierro, estaño y molibdeno (MINEM, 2020). En la Tabla 1 se puede ver el nivel de la producción de estos minerales en el año 2019 (últimas estadísticas publicadas por el gobierno), así como su valor en exportaciones.

**Tabla 1:** Nivel de producción de principales metales en Perú y su valor de exportaciones en el 2019.

Metal	Indicador	Valor
Cobre	Producción (TMF <sup>1</sup> )	2,455,440
	Valor exportaciones (US\$ millones)	13,893
Oro	Producción (gramos finos)	128,413
	Valor exportaciones (US\$ millones)	8,482
Zinc	Producción (TMF)	1,404,382
	Valor exportaciones (US\$ millones)	2,103
Plata	Producción (Kg finos)	3,860,306
	Valor exportaciones (US\$ millones)	76
Plomo	Producción (TMF)	308,116
	Valor exportaciones (US\$ millones)	1,530
Hierro	Producción (TMF)	10,120,007
	Valor exportaciones (US\$ millones)	371
Estaño	Producción (TMF)	19,853
	Valor exportaciones (US\$ millones)	979
Molibdeno	Producción (TMF)	30,441
	Valor exportaciones (US\$ millones)	638

Nota: 1. Millones de toneladas finas (TMF)

FUENTE: MINEM, 2020.

Asimismo, en la Figura 1 se puede apreciar gráficamente la distribución de las principales unidades mineras actualmente operando en el país.



**Figura 1.** Mapa de principales unidades en producción minera.  
**FUENTE:** MINEM, 2020.

En el caso particular del estaño, que es el metal que se extrae en la Unidad Minera San Rafael (UMSR), las estadísticas del MINEM muestran cómo es que el nivel de producción ha disminuido en la última década desde 33,848 TMF en el 2010 hasta 19,853 TMF en el 2019, lo que representa una clara disminución en sus reservas, haciéndolo un mineral más valioso aún. Este mineral es utilizado para diversos usos, como usos químicos (21%), soldadura (17%), aleaciones (14%), revestimiento (10%), entre otros (U.S. Geological Survey, 2020).

También es importante mencionar que el único productor de estaño en Perú es la UMSR, la cual posiciona a nuestro país en el tercer puesto de producción de este mineral a escala mundial, por debajo de Indonesia y Malasia (U.S. Geological Survey, 2020) .



Así como la minería tiene su lado positivo en cuanto al dinamismo económico del país y aumento de puestos de trabajo, también tiene un lado negativo relacionado con su impacto sobre el medio ambiente. Si bien existen normativas cuyo objetivo es reducir este impacto, como se detallará más adelante en el presente trabajo, nunca se podrá llegar a un impacto nulo en la actividad minera en cualquiera de sus etapas (exploración u operación).

Según Ferrer (2015), los problemas relacionados con el impacto medioambiental y la búsqueda del desarrollo sostenible son algunas de las inquietudes políticas, económicas, sociales e incluso educativas en nuestra época. Siguiendo con esta idea, (Montes de Oca - Pérez & Rosario - Ferrer, 2014) también indican que cualquier acción o actividad antropogénica trae como consecuencia impactos sobre la naturaleza, pero en la minería, este impacto suele ser agresivo y normalmente la naturaleza es incapaz de asimilarlo por sí sola, lo que produce un deterioro a largo plazo que afecta a los seres vivos que se hallan a los alrededores de estas actividades.

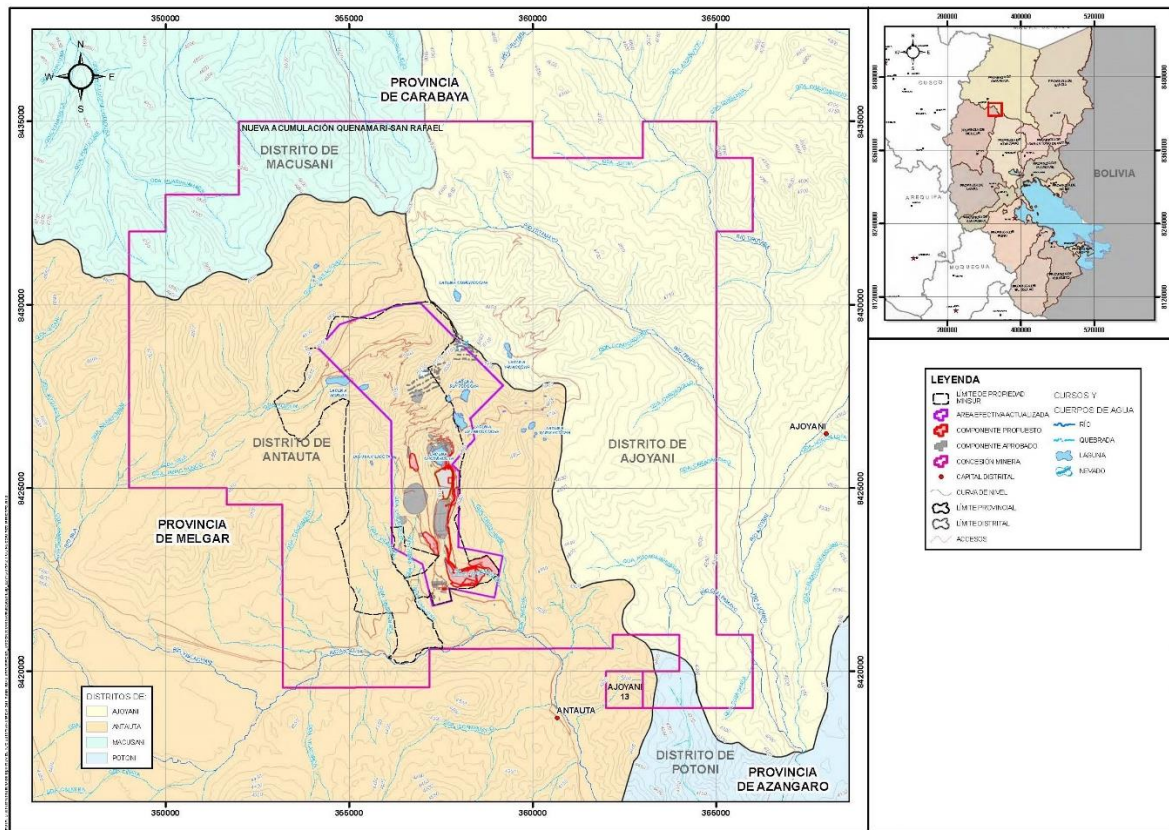
Cuando nos referimos a los impactos que la minería puede causar al medio ambiente alrededor de ella, es claro que depende mucho del entorno y del tipo de minería, pero como bien indica Moran, (2001), los principales impactos que serían transversales a todo proyecto minero, en mayor o menor medida, son la afectación de la cantidad y calidad del recurso hídrico, calidad de aire y suelos, alteración de la flora y fauna, impactos sociales y culturales, entre otros.

### **2.3 Unidad Minera San Rafael y el Proyecto B2**

La Unidad Minera Nueva Acumulación Quenamari – San Rafael, más conocida como “San Rafael” es parte de la división minera del grupo BRECA denominada MINSUR. Es la mina productora de estaño número uno a nivel nacional y a nivel de Sudamérica, y la cuarta a nivel mundial (MINSUR, 2016). Esta unidad inicia sus operaciones a cargo Lampa Minas, pero es en 1966 cuando Minsur Sociedad Limitada toma posesión de la mina, la cual se encontraba diseñada para obtención de cobre. Es en 1977 que la razón social de la empresa cambia a MINSUR S.A., modificando también la mina para la explotación y beneficio de estaño, convirtiéndose en la única mina de este mineral en Perú (Yaku Consultores, 2016)

Políticamente hablando, la UMSR se encuentra en el Paraje Quenamari, distrito de Antauta, provincia de Melgar, departamento de Puno. Por el lado geográfico, se sitúa en la cordillera (oriental) de los Andes de Perú, en el rango de altitud de 4,500 msnm y 5,200 msnm.

Esta unidad se ubica en la parte superior de la microcuenca Chogñacota, la cual es parte de la subcuenta río Crucero, que a su vez confluye al río Ñuñoa, y esta a su vez al río Azángaro, para finalmente unirse al río Ramis y desembocar en el lago Titicaca. En la Figura 2 se muestra la ubicación de la UMSR.



**Figura 2.** Ubicación de la Unidad Minera San Rafael.  
**FUENTE:** Yaku consultores, 2016.

De acuerdo con la MEIA de la UMSR, elaborada por (Yaku Consultores, 2016), las actividades mineras en la UMSR constan de la extracción de mineral con contenido de estaño mediante la técnica de minería subterránea. El mineral extraído con 2.04% de ley promedio pasa por un proceso de concentración en la planta de beneficio, cuyos principales procesos de recuperación son la flotación y concentración gravimétrica. Estos procesos generar como producto final concentrado de estaño, el cual es empaquetado y llevado a pisco para su refinado.

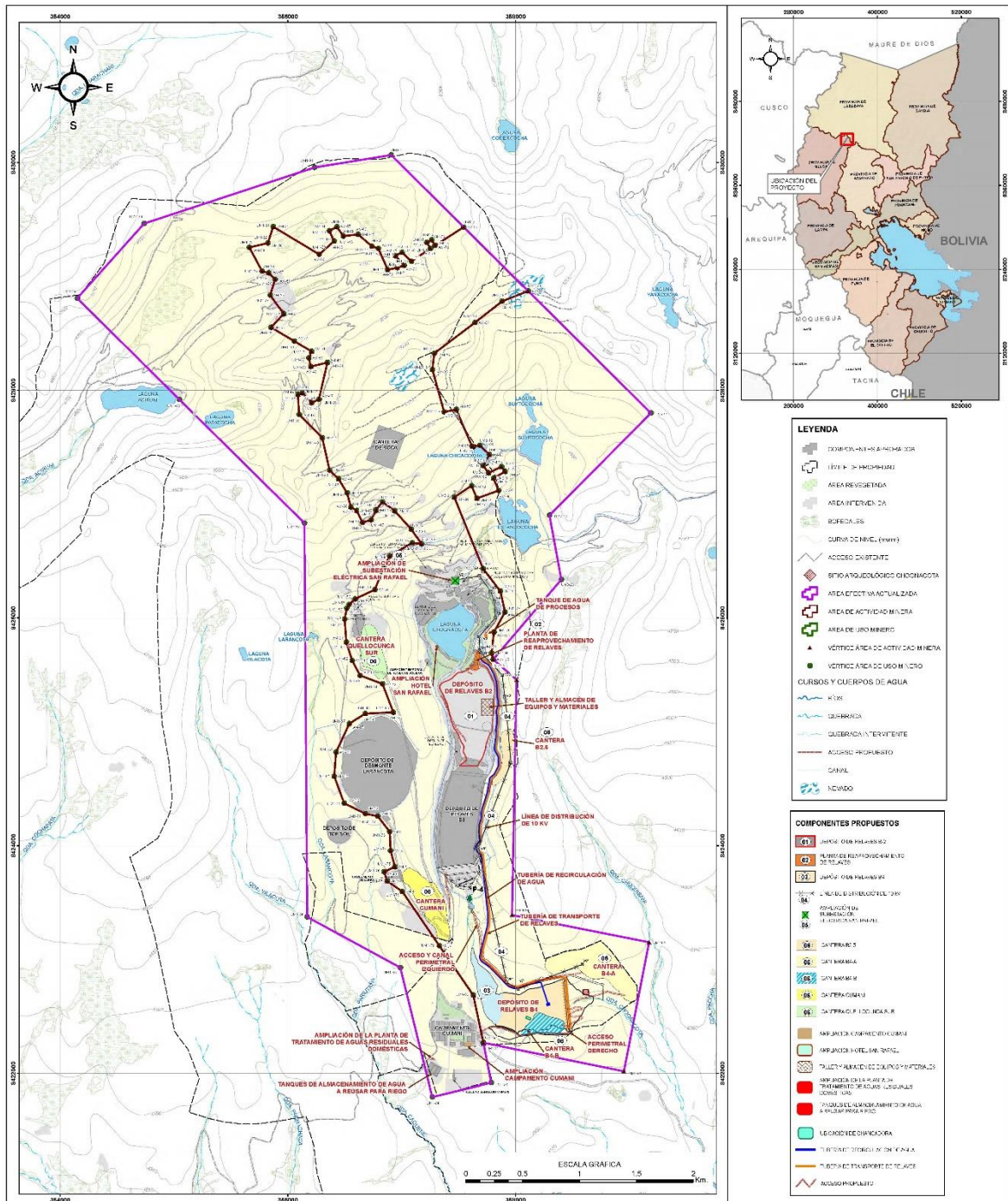
Como se describió en la sección anterior, la producción de estaño en Perú viene disminuyendo debido al agotamiento de las reservas conocidas. Es por esta razón que MINSUR S.A. identificó una oportunidad de negocio para reaprovechar los relaves depositados en su antiguo depósito de relaves denominado “B2” mediante una nueva planta concentradora.

La MEIA del 2016 fue el principal instrumento de gestión ambiental (IGA) para certificar la viabilidad ambiental del proyecto de retratamiento de relaves B2. En este IGA se contemplaron los siguientes componentes principales:

- Extracción de relaves del depósito B2.
- Nueva planta concentradora de retratamiento de relaves.
- Depósito de Relaves B4 e instalaciones auxiliares: canal y acceso perimetral, tuberías del sistema de transporte de relaves y agua.
- Línea de distribución de 10 kV.
- Ampliación de subestación eléctrica San Rafael.
- Canteras: B4-B y su acceso, B4-A y su acceso, Cumani y su acceso, Quellocunca Sur, B2.5 y su acceso.
- Ampliación del Hotel y Campamento
- Taller y Almacén de Equipos y Materiales.
- Aumento de capacidad de la PTARD.

En la Figura 3 se presenta la distribución de los componentes con respecto a la UMSR.

La evaluación de impactos realizada en dicha MEIA, siguiendo la metodología de evaluación de impactos de la Guía Metodológica para Evaluación de Impacto Ambiental de (Conesa Fernandez, 2010), concluyó que los impactos más significativos del proyecto se manifestarían principalmente sobre los aspectos como paisaje, recursos hídricos superficiales, recursos hídricos subterráneos, suelo, flora terrestre (pérdida de cobertura vegetal y fragmentación de hábitat), fauna (perturbación de la fauna silvestre, pérdida de hábitat), hidrobiología (pérdida de hábitat acuático) y sobre ecosistemas frágiles (perdida de bofedal). La evaluación de impactos también reveló que el componente con mayor importancia ambiental por su nivel de impacto era el nuevo Depósito de Relaves B4 (Yaku Consultores, 2016).



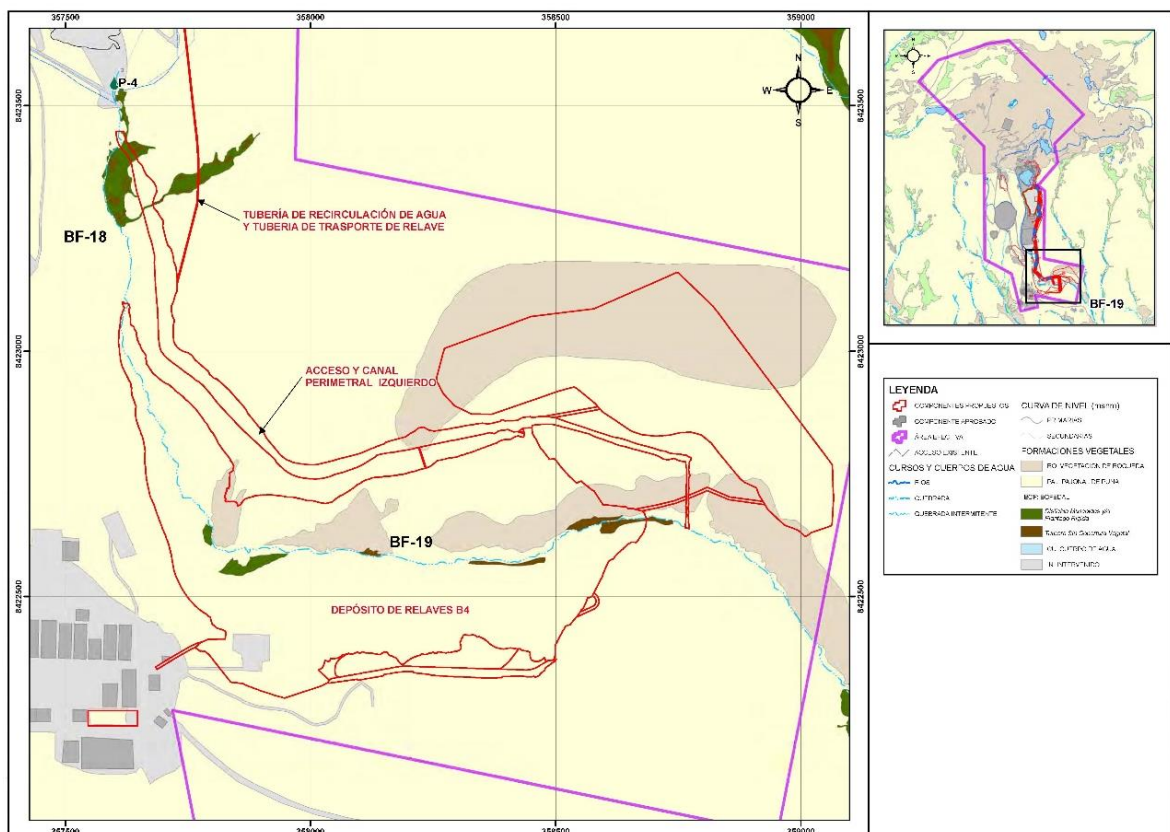
**Figura 3.** Distribución de componentes de la MEIA de la UMSR.  
**FUENTE:** Yaku consultores, 2016.

El Depósito de Relaves B4 tiene con función recibir los relaves que se generen durante la operación de la nueva planta de reaprovechamiento de relaves y se construirá en la misma quebrada Chogñacota (ver Figura 4). Los principales impactos ambientales de este depósito se producirán durante su etapa constructiva, modificando el paisaje a su alrededor, alterando el curso natural de la quebrada, modificando el uso que se le da al suelo donde se emplaza, limitando el tránsito y hábitat de animales y plantas, y generando la pérdida de humedales



altoandinos (también como conocidos como bofedales), los cuales son catalogados como ecosistemas frágiles según el artículo 99 de la Ley 28611 (Ley General Del Ambiente 28611, 2005) . La extensión total del Depósito de Relaves B4 es de 4.14 ha, sin embargo, solo 0,8 ha se ubicarán sobre área de dos bofedales, denominados “BF-18” y “BF-19” en la MEIA de la UMSR. En la Figura 4 se observa la ubicación de estos humedales altoandinos con respecto a la huella del Depósito de Relaves B4.

Un factor relevante para tomar en cuenta es que, dado que el Depósito de Relaves B4 se ubicará sobre una quebrada con presencia de agua de manera perenne, la ingeniería del proyecto consideró la construcción de un canal perimetral que permita derivar el agua de la quebrada para que bordeen al depósito de manera que se permita su construcción y posterior operación de manera adecuada.



**Figura 4.** Ubicación de bofedales BF-18 y BF-19 con respecto al Depósito de Relaves.

**FUENTE:** Yaku consultores, 2016.

## 2.4 Humedales altoandinos

En términos generales, los humedales son las tierras donde la saturación del agua es el factor dominante que determina la naturaleza del desarrollo de comunidades de plantas y animales que viven en el suelo y desarrollo propio del suelo (Federal Geographic Data Committee,

2013) Los humedales altoandinos se pueden encontrar a partir de los 3,500 msnm, normalmente entre depresiones o valles y en laderas con pendientes poco pronunciadas, aunque menos frecuente (Yaranga, 2020).

Algunos de los humedales pantanosos son conocidos como bofedales en Perú, Bolivia y Chile (Squeo et al., 2006), este ecosistema consiste en áreas inundadas o semi-inundadas sobre suelos de baja o nula permeabilidad que son capaces de retener el agua. Estas características particulares de los humedales les permite contar con una rica variedad de vegetación en forma de almohadillas y materia vegetal muerta, también conocida como turba o turbera (Suarez Duque et al., 2016)

Alegría Calvo et al., (2000) también postula que los bofedales o humedales altoandinos son ecosistemas vegetales que se instauran en ambientes edáficos, principalmente de carácter orgánicos, con condiciones de saturación hídrica permanente y que presentan una gran biodiversidad en su entorno.

El estudio de funcionamiento de estos ecosistemas ha sido un proceso relativamente complejo, debido principalmente a la diversidad natural de estos ecosistemas, vinculada directamente con condiciones climáticas del altiplano, y a la interacción de los humanos con estos ecosistemas.

Los bofedales también son considerados ecosistemas estratégicos por los variados servicios ecosistémicos que ofrecen (Cadena-Gaona et al., 2019), como la purificación del aire y del agua. Asimismo, estos ecosistemas son lugares clave para el establecimiento de diversas especies y asentamiento humano dado que presentan características que facilitan su desarrolló cultural y económico, brindando bienes materiales (agua y alimento) (Osorio Múnera, 2006).

Por otro lado, los humedales proveen de servicios invaluable y beneficios para los humanos alrededor de todo el mundo, incluyendo la regulación de climas locales y globales. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) pronostica que los cambios en el clima llevarán a una intensificación del ciclo hidrológico a nivel mundial y podrían tener mayor impacto en el recurso hídrico a nivel regional (Bergkamp & Orlando, 1999).

Se entiende por servicio ecosistémico a aquellos beneficios que se obtienen de los ecosistemas. Esos beneficios pueden ser obtenidos o percibidos de manera directa o

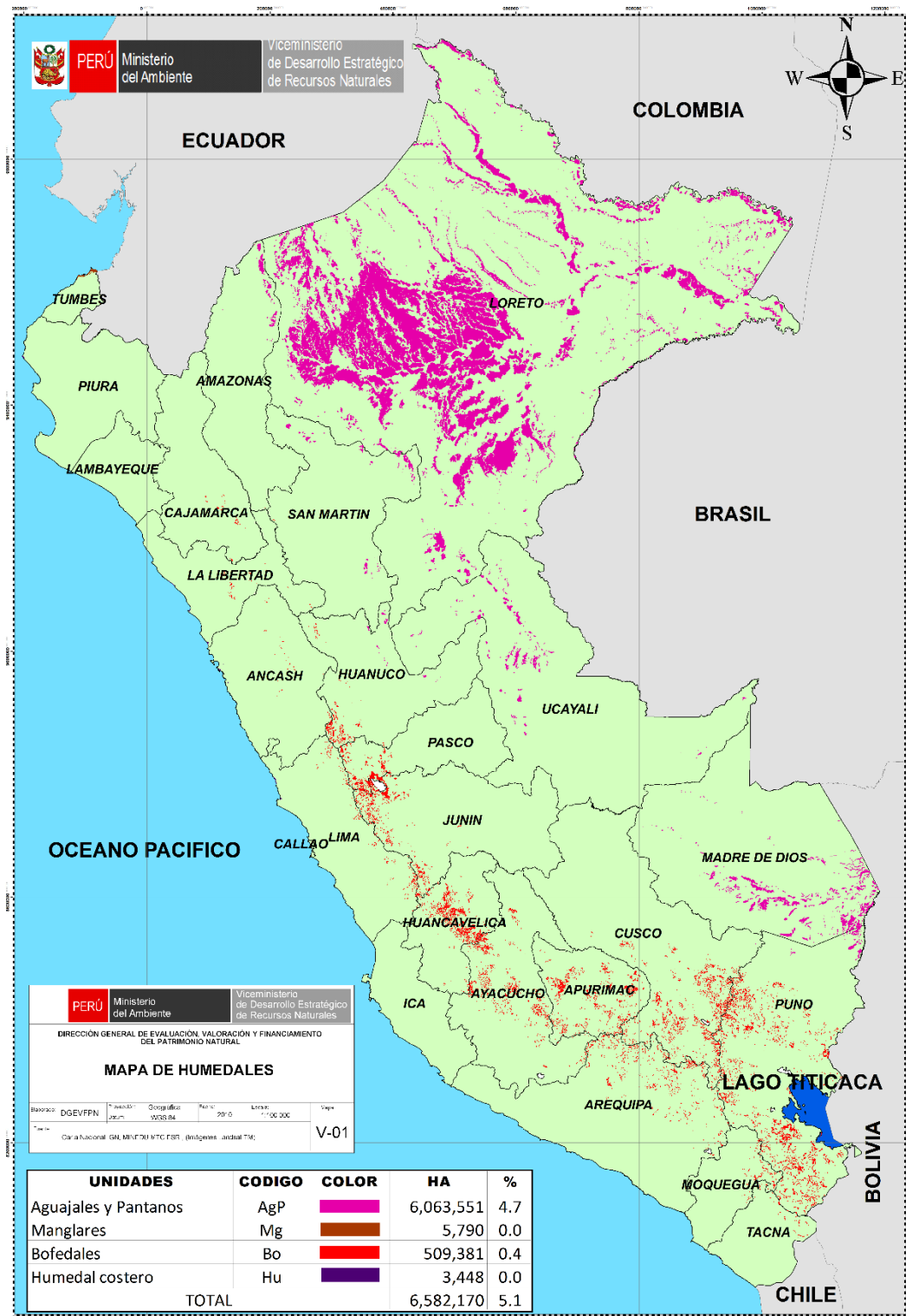
indirecta. Se consideran directos cuando se trata de generación de suministros como agua y alimento, o la regulación de ciclos hídricos, control de la degradación de los suelos, plagas y enfermedades, desecación y salinización, entre otros. Por otro lado, los beneficios indirectos se manifiestan en aspectos como el funcionamiento de procesos ecosistémicos que genera los servicios directos, como la fotosíntesis, la formación de materia orgánica, así como su almacenamiento; el ciclo de nutrientes; neutralización de residuos peligrosos (tóxicos), entre otros (MINAM, 2019) .

Los humedales altoandinos también tienen la capacidad de contribuir con la mitigación de los gases de efecto invernadero por su potencial de captura de carbono, pero hay actividades como el drenado, las quemaduras y el pastoreo, que provocan la oxidación del carbono dentro de los bofedales y lo libera en forma de CO<sub>2</sub> de vuelta al ambiente (Suarez Duque et al., 2016).

De acuerdo con la Convención sobre los Humedales de Importancia Internacional (RAMSAR), los bofedales son ecosistemas de altamente frágiles debido a factores naturales como el cambio climático y las sequías, y la afectación humana. El cambio climático, así como el incremento de la temperatura, han provocado un retroceso de glaciales a nivel mundial, reduciendo una importante fuente de agua para estos ecosistemas (Gil Mora, 2011).

En la misma línea, Calvo Gómez, (2016) indica que el efecto del cambio climático lleva amenazando la configuración biológica, la estructura y funcionamiento de los bofedales. Sobre ello se han desarrollado simulaciones con modelos, los cuales pronostican que, de mantenerse el retroceso de los glaciales al ritmo actual, la mitad de la superficie de bofedales habría desaparecido para el 2050.

De acuerdo con el (MINAM, 2010) , los bofedales abarcan únicamente el 0.4 % del territorio peruano (509,381 ha). En la Figura 5 se puede apreciar la distribución de estos.



**Figura 5.** Mapa de Humedales en Perú.  
**FUENTE:** MINAM, 2010.

De acuerdo a Salvador et al., (2015) , aun cuando la extensión de los bofedales es baja con respecto al territorio nacional total, hay estudios que muestran que su tasa de captura de carbono es significativamente más alta que los bofedales en el hemisferio norte. Asimismo,



indica que estos son ecosistemas poco conocidos enfrentan y enfrentarán nuevos desafíos para su supervivencia.

Perú cuenta con una estrategia nacional de humedales (Estrategia Nacional de Humedales, 2015), cuya visión es que para el año 2021 se haya reducido la degradación de humedales y se haya producido la recuperación significativa de aquellos que se encuentren afectados. Por otro lado, el objetivo de esta estrategia es el de fomentar la conservación y uso sostenible de estos ecosistemas a través de actividades como prevención, reducción y mitigación de su degradación.

Tomando como base la Norma Técnica 9, se estimó que los bofedales en el área de estudio de la MEIA de la UMSR presentaron servicios ecosistémicos relacionados con:

- Provisión, por su aporte de agua dulce y forraje.
- Regulación, por su contribución al secuestro de carbono, control de erosión edáfica, regulación de inundaciones, purificación del agua, sedimentación y carga de nutrientes y retención de agua.
- Apoyo, por su facultad de servir como refugio, cobertura y hábitat de fauna silvestre.

Las experiencias en rehabilitación de humedales altoandinos o bofedales son escasas, sobre todo cuando se trata de humedales afectados por proyectos mineros en los andes peruanos, pero donde si se tiene mayor experiencia es en la creación de humedales de manera artificial para tratar aguas, incluyendo el drenaje ácido de roca y aguas residuales domésticas, donde muchos autores como Amábilis-Sosa et al., (2015); Castillo-Castañeda & Agudelo-Valencia, (2020); Denegri-Muñoz & Iannacone, (2020), entre muchos otros, han evidenciado su eficacia.

Si bien ha sido demostrado que se pueden crear humedales artificiales, los beneficios que estos aportan son puntuales y relacionados a sus objetivos propios, siendo muy limitado en comparación con los servicios ecosistémicos que un humedal altoandino puede brindar de manera natural.

## **2.5 Normativa ambiental vigente relevante**

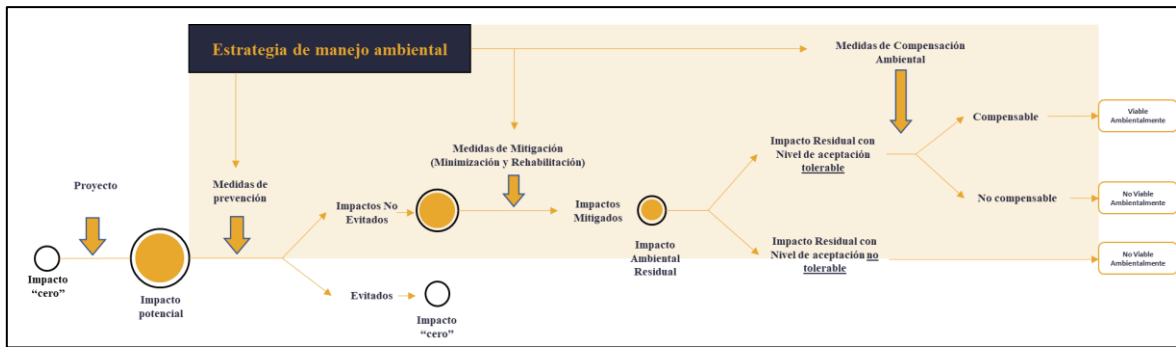
En la parte alta de la pirámide normativa ambiental del Perú se cuenta con la Ley General del Ambiente. A partir de dicha ley se han desdoblado una serie de normas y guías que delimitan las “reglas de juego”, por así decirlo, para la protección del ambiente a nivel nacional, tanto para las actividades públicas como privadas.

En especial para el sector minero, actualmente se cuenta con un reglamento aprobado mediante Decreto Supremo (D.S.) 040-2014-EM, enfocado únicamente a los controles ambientales de proyectos mineros destinados a operación (los proyectos mineros con fines exploratorios cuentan con su propia legislación ambiental). Dentro de muchos artículos de este decreto supremo, se destaca:

- Artículo 21, los titulares mineros deben asegurar en lo posible que sus operaciones eviten afectar bienes y servicios ecosistémicos.
- Artículo 51, se indica que cuando se afecten áreas de relevancia ecológica y las medidas de prevención, corrección, mitigación y/o restauraciones no puedan ser aplicadas, el titular deberá elaborar un plan de compensación ambiental en el EIA.

Asimismo, en la misma jerarquía jurídica, nos encontramos con la Ley Del Sistema Nacional de Evaluación Del Impacto Ambiental 27446, (2001), la cual regula el sistema de evaluación de impactos ambientales. En esta ley se establecen los procesos para la evaluación y aprobación de EIA para proyectos. Desde esta perspectiva, todo EIA debe contar con una Estrategia de Manejo Ambiental (EMA), incluyendo el plan de compensación de ser el caso. Siguiendo la misma lógica, el reglamento de esta Ley - (D.S. N° 019-2009-MINAM) , define la Compensación Ambiental, entendiéndola como medidas que generan beneficios ambientales que equivalgan a los daños ambientales generados por un proyecto que no pueden optar por medidas de mayor jerarquía como prevención, mitigación, recuperación o restauración que puedan ser eficaces. Se entiende entonces a un plan de compensación como el cambio de “ambiente por ambiente”.

El MINAM publicó en marzo de 2016 la Resolución Ministerial (R.M.) N° 066-2016-MINAM, en la cual se establece la guía para elaborar planes de compensación ambiental. En esta guía el MINAM establece los nuevos lineamientos mediante los cuales los proyectos de inversión deberán elaborar sus planes de compensación ambiental. En la Figura 6 se presenta el esquema de los pasos lógicos a seguir durante una evaluación ambiental y cuando es que se debe aplicar la compensación ambiental. En la Sección III del presente informe se detallará la metodología aplicada para el Plan de Compensación de los Humedales Altoandino BF-18 y BF-19, materia del presente trabajo, siguiendo los lineamientos de dicha guía.

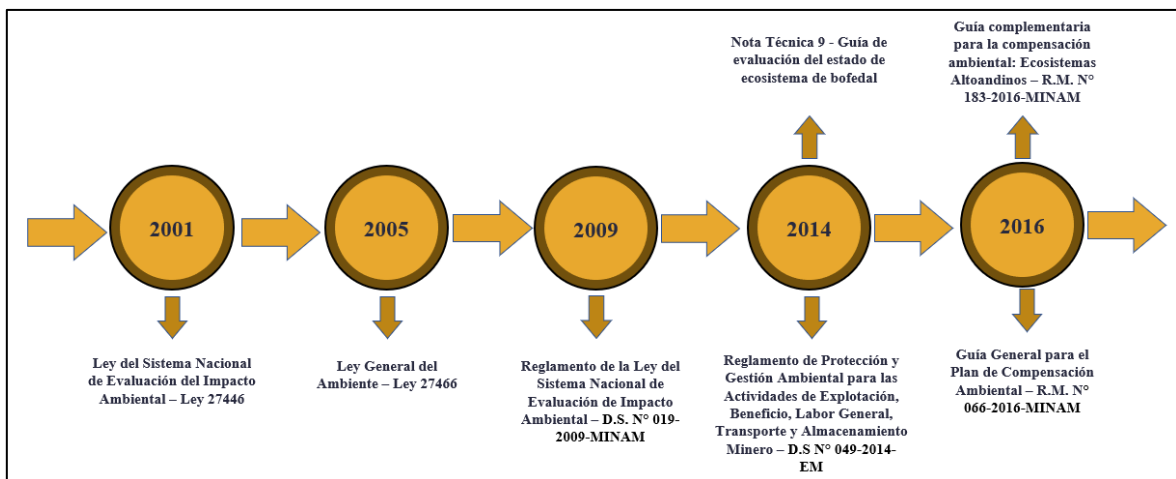


**Figura 6.** Esquema de los pasos lógicos a seguir durante una evaluación ambiental.  
**FUENTE:** Adaptado de MINAM, 2016.

Por otro lado, el MINAM publicó en el 2014 la Nota Técnica 9, la cual establece el Marco Conceptual y Metodológico para Estimar el Estado de Salud de los Bofedales. Esta nota técnica que sirve como referencia para estimar el estado salud de bofedales tomando como base los atributos de i) integridad biótica, ii) función hidrológica y iii) estabilidad del sistema. Estos atributos a su vez tienen 14 indicadores para su estimación.

Finalmente, en el 2016, el MINAM publicó oficialmente la Guía complementaria para la compensación ambiental: Ecosistemas Altoandinos (R.M. N° 183-2016-MINAM), la cual presenta la metodología actual aplicable para el establecimiento de los planes de compensación ambiental en base a tres atributos (florística del sitio, estabilidad del suelo, e integridad de biótica). Se debe precisar que, a la fecha de ejecución del plan de compensación del presente estudio en el año 2016, esta guía aún no había sido publicada, por lo que se tomaron como base la Guía para elaborar planes de compensación ambiental de la R.M. N° 066-2016-MINAM y la Nota Técnica 9.

En la Figura 7 se presenta la línea de tiempo de la evolución de la normativa ambiental aplicable mencionada.



**Figura 7.** Línea de tiempo de evolución de normativa ambiental aplicable.

## 2.6 Ejemplos de compensación ambiental en Perú

Actualmente no se cuenta con mucha experiencia y estudios referidos a casos concreto de compensación ambiental en Perú, sin embargo, se han desarrollado tres casos de compensación teóricos presentados al SENACE en el marco de la evaluación de IGA.

El primer caso presentado ese materia del presente trabajo, los otros dos son planes de compensación elaborados para humedales altoandinos para la para la MEIA del proyecto La Arena (Stantec, 2016) y la MEIA del proyecto minero Antapacay Expansión Tintaya – Integración Corocchohuayco (Golder Aassociados Peru, 2019).

La metodología aplicada para elaborar el plan de compensación de ambos casos se basó en la Guía complementaria para la compensación ambiental en ecosistemas altoandinos.

Las medidas de compensación de ambos casos se dirigieron a mantener la biodiversidad y funcionalidad de los ecosistemas que se perderían o se verían afectados por las operaciones mineras. Como actividades concretas en los planes se propusieron las siguientes medidas sobre los humedales a ser compensados:

- Obras de ingeniería para mejoramiento del régimen hídrico.
- Restauración de hábitats por medio de reforestación y propagación de especies nativas.
- Reposición y manejo de especies clave para su restauración.
- Recuperación y mejoramiento de servicios ecosistémicos en área contiguas a los humedales a ser compensados.
- Recuperación u optimización de la biodiversidad por medio de programas de reposición.
- Recuperación u optimización del régimen hídrico en ecosistemas.
- Medidas de vigilancia y monitoreo del éxito del plan de compensación.

En ambos casos se estimaron presupuestos y cronogramas para la ejecución y monitoreo de las actividades. En la Tabla 2 se presenta un resumen de estos dos ejemplos y el caso del presente trabajo.

**Tabla 2:** Presupuesto y cronograma de ejemplos de compensación ambiental en Perú

Estudio de Impacto Ambiental	Área a impactar	Presupuesto	Cronograma constructivo	Cronograma de monitoreo
MEIA Antapacay	56.6 ha	600,300 USD	2 años	10 años
MEIA La Arena	51.05 ha	250,000 USD	1 año	2 años
MEIA UMSR	0.80 ha	83,146 USD	1 año	3 años

**FUENTE:** Golder Associates Peru, 2019. Stantec, 2016 y Yaku Consultores, 2016.

### **III. METODOLOGÍA**

Como se mencionó en la sección anterior, para la evaluación del valor ecológico de los bofedales a ser impactados y compensados, así como calcular las unidades de compensación para elaborar el plan de compensación ambiental, se tomó como referencia la metodología normada por el MINAM en su la guía aprobada mediante R.M. N° 066-2016-MINAM y la Nota técnica 9. Es importante precisar que actualmente la metodología vigente es la de la Guía complementaria para la compensación ambiental: Ecosistemas Altoandinos, sin embargo, al momento de elaborar el MEIA esta normativa no se encontraba vigente.

A continuación, se describirá el paso a paso de la metodología empleada para llegar a los resultados del estudio.

#### **3.1 Información de línea base en el área de estudio de la MEIA**

En el área de estudio de la MEIA se identificaron 26 bofedales en total. En su mayoría, estos ecosistemas presentaron grandes áreas de transición con la formación vegetal pajonal de puna, cubiertos por gramíneas y ausencia de vegetación propia de bofedal. Se debe precisar que la mayoría de estos bofedales presentaron áreas que se caracterizaban por escasa cobertura vegetal, quedando únicamente turbera expuesta al ambiente.

La identificación de bofedales se desarrolló haciendo uso de imágenes satelitales y posteriores visitas a campo. Estas dos actividades permiten delimitar y analizar los bofedales mediante:

- Distorsión de color, textura, tamaño, forma, brillo y tono.
- Diferencias entre comunicados vegetales y diferencias en la humedad.
- Comprobación de la condición del bofedal.
- Caracterización de cuerpos de agua cercanos y aguas arriba del bofedal.

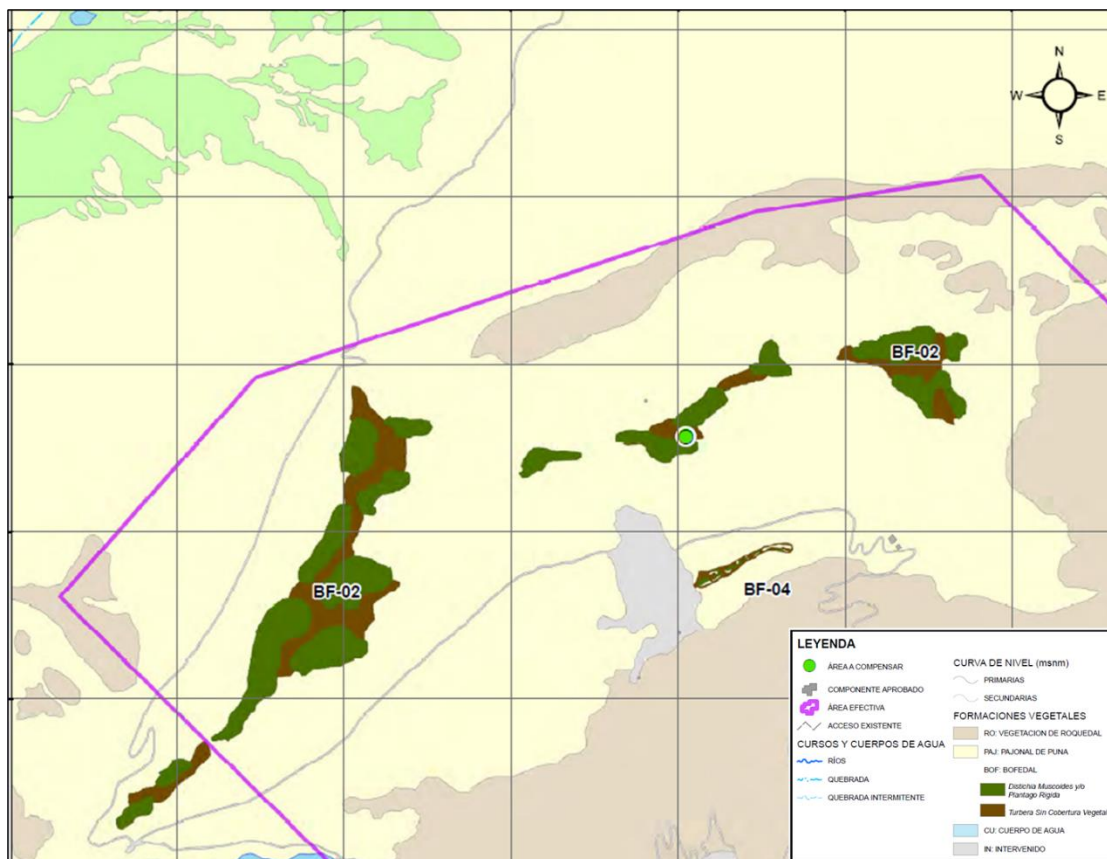
En el Anexo 1 se presentan las fichas del inventario de bofedales desarrollado para la MEIA en donde se presenta mayor caracterización de estos.

### 3.1 Selección del bofedal a compensar

Una vez levantada la información de los bofedales en el área de estudio de la MEIA, se procedió a identificar el bofedal que presentaba las mejores características para ser compensado, considerando los siguientes criterios como mínimo:

- Que cuente con accesibilidad, es decir, que no requiera habilitar nuevos accesos.
- Presencia de fuente de agua natural constante cercana.
- Visualmente similar al bofedal a impactar.
- Que se encuentre dentro de terrenos propiedad del titular minero.
- Que el acceso a personas y fauna sea restringido y controlado.

En la Figura 8 se presenta el plano de ubicación y distribución de vegetación del bofedal BF-02 a compensar.



**Figura 8.** Bofedal BF-02 a compensar.  
**FUENTE:** Yaku consultores, 2016.

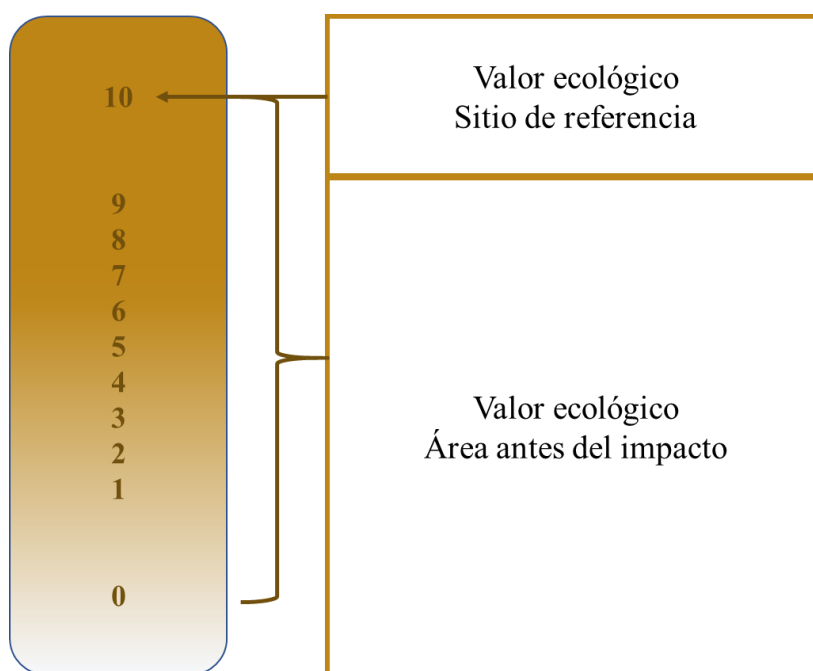
### 3.2 Estimación de pérdidas y ganancias

A continuación, se detallan los pasos establecidos y seguidos para la estimación de la pérdida de valor ecológico del bofedal y su respectiva ganancia para compensarlo.

#### Paso 1: Evaluación del valor ecológico

Para estimar el valor ecológico (VE) se seleccionan tres atributos del bofedal: i) florística del sitio, ii) estabilidad del suelo e iii) integridad biótica.

Es necesario seleccionar un ecosistema en el área de estudio que se considere como el mejor estado de conservación, para tomar sus valores como referentes y poder compararlos con los de los bofedales a impactar y compensar. A partir de la comparación de valores de referencia se establece una escala de calificación del VE de 0 a 10, siendo el 0 el peor estado y el 10 como mejor estado. En la Figura 9 se presenta gráficamente la escala de calificación del VE.



**Figura 9.** Escala del valor ecológico.  
**FUENTE:** Adaptado de MINAM, 2016.

Posterior a la evaluación del VE del bofedal a impactar antes del impacto del proyecto, se debe calcular el valor ecológico total (VET), este es obtenido multiplicando el VE con el área que se verá impactada, conocida como unidades de compensación (UC), expresadas en hectáreas (ver Figura 10).





**Figura 10.** Cálculo de VET antes del impacto.  
**FUENTE:** Adaptado de MINAM, 2016.

### **Paso 2: VET después del impacto**

En base al VET calculado del bofedal antes de ser impactado se procede a calcular el VET luego del impacto.

En este caso se asume que la pérdida del bofedal será total, por lo que el VE se reduce a cero. Bajo este contexto no es necesaria una predicción de VET después del impacto basada en atributos e indicadores.

### **Paso 3: Pérdida de VET del área impactada**

Con los resultados de los VET antes y después del impacto se puede proceder a calcular la diferencia o delta de pérdida de VET del ecosistema o Valor Ecológico Perdido (VE perdido), el cual resulta de la resta simple entre ambos VET (ver Figura 11).



**Figura 11.** Cálculo de pérdida del VE del bofedal por impacto.  
**FUENTE:** Adaptado de MINAM, 2016.

El VE perdido es el valor que muestra la pérdida de biodiversidad y funcionalidad del bofedal y es el valor que debe ser compensado a través de las medidas de restauración y en el humedal a compensar.

#### **Paso 4: Área a compensar antes de las medidas de compensación**

Para seleccionar el bofedal a compensar, se debe asegurar que sea un área equivalente ecológicamente al área a ser afectada y que cumpla con los lineamientos establecidos por el SEIA para los casos de compensación.

La evaluación de esta área debe realizarse usando la misma escala que el Paso 1, obteniendo el VE antes de las medidas de compensación.

#### **Paso 5: VE ganado después de las medidas de compensación**

El valor de VE ganado se obtiene por medio de la adición de las acciones de restauración, las cuales buscan asegurar que la diferencia o la pérdida del VE estimado en el Paso 3 se equiparado.

#### **Paso 6: Unidades de compensación**

Para la estimación de las UC, el VET ganado luego de las acciones de compensación debe ser al menos igual al VET perdido por el impacto del proyecto (ver Figura 12).



**Figura 12.** Cálculo de del VET ganado.  
**FUENTE:** Adaptado de MINAM, 2016.

Las unidades de compensación, o las hectáreas a compensar en el bofedal donde se realizarán las medidas de compensación, se calculan dividiendo el VET perdido entre el delta del VE ganado (ver Figura 13).



**Figura 13.** Cálculo de las unidades de compensación.  
**FUENTE:** Adaptado de MINAM, 2016.

### **3.3 Estimación del estado de salud o valor ecológico**

#### **Paso 1: Atributos**

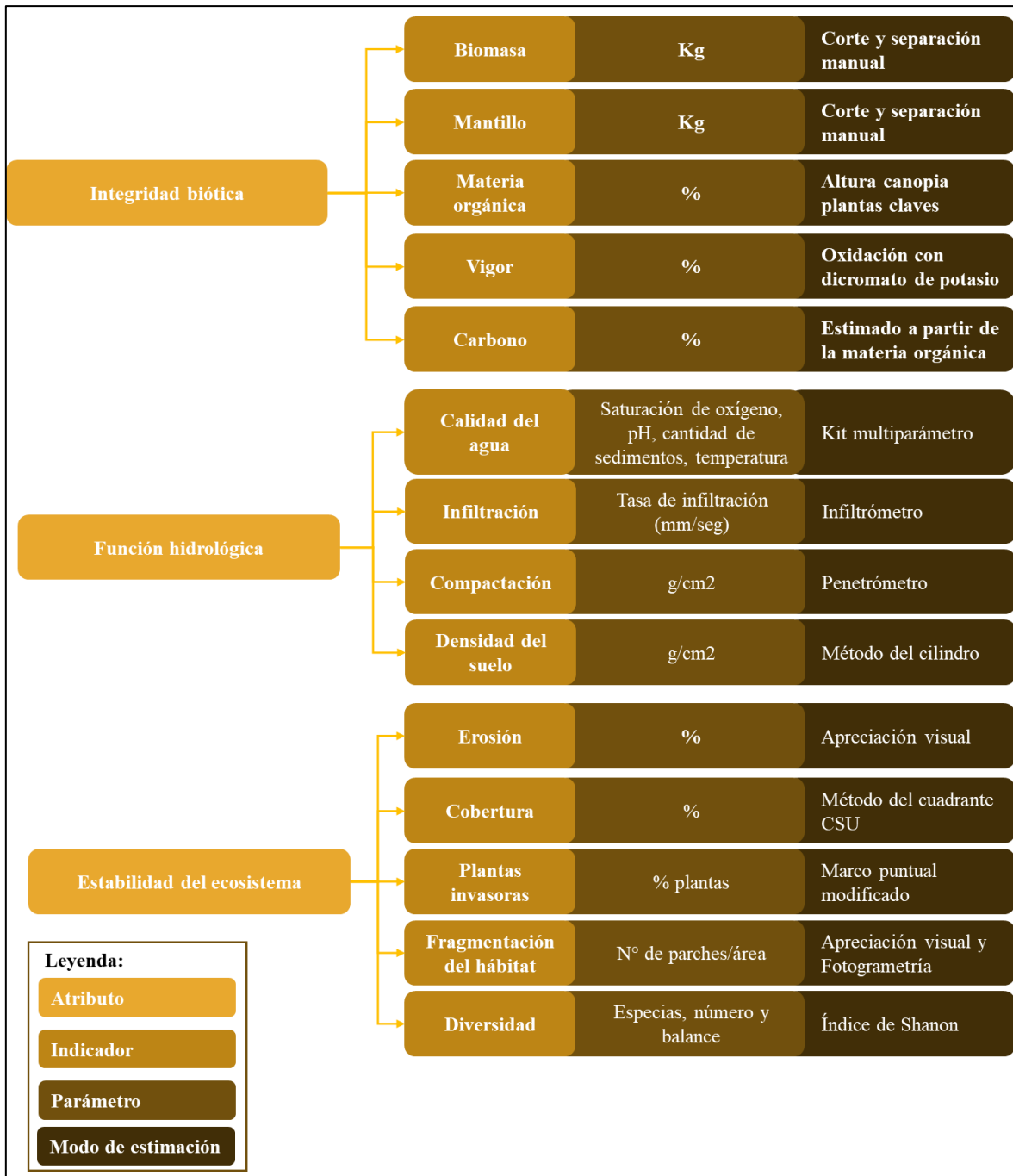
Los atributos de un ecosistema son el principal punto de partida para estimar el estado de conservación del mismo. Estos atributos son:

- Integridad biótica: capacidad del ecosistema para acumular efectivamente la materia orgánica (MO) y biomasa, y mantener una florística adecuada, de manera que se asegure adecuadamente un suministro nutrientes y energía.
- Función hidrológica: capacidad del ecosistema para capturar, almacenar y regular agua en calidad y cantidad por todo el año a sus diferentes suministros claves como ríos, puquios y manantiales.
- Estabilidad del sistema: capacidad del ecosistema para manejar la pérdida de suelo, MO y nutrientes que permitan asegurar una adecuada resistencia al sistema a las afectaciones abióticos y bióticos.

#### **Paso 2: Indicadores**

Los indicadores son características observables y medibles de un ecosistema, que brindan datos del estado de cada atributo y así permiten monitorear el área en el tiempo. Los indicadores para ecosistemas altoandinos ya se encuentran seleccionados por el MINAM y se pueden observar en la Figura 14 junto con el método para su estimación.

El detalle de cada indicador se presenta en la Norma Técnica 9 en el Anexo 2. Asimismo, en el Anexo 3 se presenta el capítulo de la Estrategia de Manejo Ambiental del MEIA, donde se detalla los trabajos de campo realizados para la estimación de cada atributo.



**Figura 14:** Atributos e indicadores para evaluar el valor ecológico.  
**FUENTE:** Adaptado de MINAM, 2016.

### Paso 3: Valor ecológico

Para la estimación del VE fue necesario seleccionar un bofedal cercano que pudiera considerarse como óptimo o de referencia. A este bofedal se le asignaron valores y puntajes base a cada atributo para que en conjunto tengan un valor ecológico sumado de 10 (considerado como saludable). Sobre estos puntajes se obtuvieron valores ponderados de los atributos de los bofedales a impactar y a compensar en base a los valores obtenidos en campo por cada atributo.

## **IV. RESULTADOS**

### **4.1 Contexto laboral**

El centro laboral para el cual el egresado elaboró el Plan de Compensación Ambiental es MINSUR S.A. Esta empresa es la división minera del grupo BRECA y tiene dentro de su portafolio la operación de las unidades mineras San Rafael (estaño) y Pucamarca (oro), así como la operación de la fundición y refinería Fundición Pisco. MINSUR S.A. tiene la siguiente visión y misión:

- Misión: Generar valor transformando recursos minerales de manera sostenible.
- Visión: Desarrollar y operar activos mineros de clase mundial, siendo un referente en términos de seguridad, eficiencia operacional, responsabilidad socioambiental y desarrollo de personas en todos los países donde operamos.

Durante el periodo de agosto 2016 y diciembre 2019, el egresado se desempeñó bajo el cargo de Jefe de Medio Ambiente y Permisos para el Proyecto B2. Dentro de este periodo se coordinó y elaboró una serie de certificaciones ambientales para la U.M. San Rafael, siendo la más importante la MEIA, elaborada en conjunto con la empresa consultora Yaku Consultores S.A. Dentro de este estudio fue necesario desarrollar un plan de compensación que satisfaga la normativa específica por la pérdida de dos bofedales debido a trabajos constructivos del proyecto de reaprovechamiento de relaves. El proceso de elaboración de este plan fue particularmente retador debido a que no se contaban con referencias previas de proyectos similares y la normativa aplicable fue publicada durante el desarrollo de éste, lo cual obligó a reestructurar parte del estudio y desarrollar trabajos de campo adicionales.

Es importante resaltar que posterior a la aprobación de la MEIA, el egresado también tuvo a cargo la obtención de otros permisos y certificaciones sectoriales con diversas autoridades para lograr la viabilidad de la construcción del proyecto de reaprovechamiento de relaves. Asimismo, durante la construcción del proyecto, el egresado siguió desempeñando sus funciones en campo para asegurar el adecuado manejo ambiental del mismo, así como la obtención de otros permisos requeridos por modificaciones en el proyecto y unidad minera.

## 4.2 Resultados de la estimación del valor ecológico

En la Tabla 3 se presentan los valores obtenidos por cada indicador y el VE estimado en base a ellos para el bofedal de referencia, bofedal a ser impactado y el bofedal a compensar.

**Tabla 3:** Estimación del valor ecológico

Indicador	Bofedal de referencia (AR)		Bofedal a ser impactado			Bofedal a ser compensado		
	Valor	Puntaje	Valor	(%AR)	Puntaje	Valor	(%AR)	Puntaje
<b>Integridad biótica</b>								
1. Biomasa peso seco	0.429	9.6	0.330	18	7.4	0.213	18	4.8
2. Mantillo	-	-	-	-	-	-	-	-
3. Vigor (Altura de canopia - cm)	10	2.0	2	15	0.4	0	15	0
4. % Materia orgánica en el horizonte superficial	10	2.0	2	15	0.4	0	15	0
5. Captura de Carbono t C /m <sup>3</sup>	0.007	1	0.005	41	0.7	0.003	41	0.4
<b>Función hidrológica</b>								
1. Calidad de agua (%)								
1.1 Parámetros químicos (%)	80	4	60	75	3	0	0	0
1.2 Parámetros físicos (%)	20	4	15	75	3	0	0	0
2. Condiciones de suelos hídricos (%)	100	12	50	50	6	0	0	0
3. Capacidad de infiltración.	100	12	50	50	6	0	0	0
4. Grado de compactación	-	-	-	-	-	-	-	-
5. Densidad del suelo	2.98	3	2.79	94	2.8	2.48	83	0.5
<b>Estabilidad del sistema</b>								
1. Signos de erosión	20	3	7	35	1.4	0	25	0
2. Grado de cobertura	98	5.5	82.5	84	1.7	0	39	0
3. Plantas invasoras	-	-	-	-	-	-	-	-
4. Fragmentación del hábitat	25	12	4	16	1.9	0	0	0
5. Riqueza (# especies)								
5.1 Hidrófitas	5	12.5	2	25	6	1	13	2.3

Continuación ...

Indicador	Bofedal de referencia (AR)		Bofedal a ser impactado			Bofedal a ser compensado		
	Valor	Puntaje	Valor	(%AR)	Puntaje	Valor	(%AR)	Puntaje
5.2 Hierbas	5	11.5	1	13	3.5	1	13	2.4
Puntaje relativo (%)		100			49.9			1.43
Escala 1-10		10			5.0			1.43
Estado de Conservación	Saludable		Saludable con problemas de manejo			No Saludable		

*Nota: %AR: Porcentaje con respecto al bofedal de referencia.*

**FUENTE:** Yaku consultores, 2016.

En la Figura 15, Figura 16 y Figura 17, se puede apreciar las fotografías del bofedal de referencia, bofedal a impactar y bofedal a compensar, respectivamente.



**Figura 15.** Valorización ecológica del bofedal de referencia.

**FUENTE:** Yaku Consultores, 2016.



**Figura 16.** Valorización ecológica del bofedal a impactar.  
**FUENTE:** Yaku Consultores, 2016.



**Figura 17.** Valorización ecológica del bofedal a compensar.  
**FUENTE:** Yaku Consultores, 2016.



### 4.3 Resultados de la estimación del valor ecológico total

En la siguiente ecuación se puede observar el cálculo realizada para obtener el VET del área a ser impactada (4 unidades).

$$VET = 5 (VE) \times 0.8 (ha) = 4 \text{ und}$$

### 4.4 Resultados de la estimación del valor ecológico ganado después de las medidas de compensación ambiental y unidades de compensación

Asumiendo que el bofedal a compensar llegará a un estado de VE igual que el bofedal a ser impactado (5), el valor ecológico ganado en el bofedal a compensar fue de 3.57, como se puede apreciar en la siguiente ecuación.

$$\Delta VE_{\text{ganado}} = 5 (VE \text{ bofeda a impactar}) - 1.43 (VE \text{ bofedal a compensar}) = 3.57$$

Con este valor se pudo obtener las unidades a compensar en el bofedal de referencia, considerado que el VET debe ser igual o mayor al VET del bofedal a ser impactado (4 und). De esta forma se obtuvo que las unidades de compensación son de 1.12 ha, como se puede apreciar en la siguiente ecuación.

$$UC = \frac{4}{3.57} = 1.12 \text{ ha}$$

### 4.5 Medidas, plazos y recursos para la compensación ambiental

Tomando como base a los resultados previamente obtenidos y experiencias similares de los consultores involucrados, se establecieron las siguientes medidas.

#### 4.5.1 Medidas de restauración

Para el lograr la rehabilitación del bofedal por medio de la compensación ambiental con otra área equivalente se desarrollará las siguientes acciones:

#### **Restauración de hábitats a través de obras de ingeniería**

##### *Habilitación de infraestructura física*

La infraestructura física a construir está formada por todos los componentes que permitan el mantenimiento del nivel hídrico, para lo cual se ha establecido la conformación de bordes compactos, canal de conducción de agua, reductores de flujo, secciones de separación, canal

de conducción final y dique final. Se ha propuesto que toda la estructura se realice de manera manual para generar el mínimo impacto sobre el ecosistema.

En el caso de los bordes del bofedal, estos serán levantados con material de préstamo tipo suelo arcilloso, tendrá forma piramidal con una altura de 0.6 m. Estos bordes serán compactados de manera manual con pesas de 20 kg. Estas estructuras sirven para impermeabilizar el sistema y evitar el desborde del agua hacia los laterales para mantener el nivel hidráulico. También evitan las pérdidas por escurrimiento y reboses.

#### *Habilitación del sistema hidráulico*

El sistema hidráulico del bofedal es el factor clave para garantizar que el ecosistema desarrolle la flora hidrófita de manera sostenida en el tiempo. Para lograr todo el sistema hidráulico del bofedal, se debe contar con un buen sistema de captación y distribución del agua de ingreso al mismo.

Las aguas serán captadas a través de una toma lateral este del curso de agua de la zona superior, los cuales serán conducidos a una pequeña “poza de recepción primaria” de agua de 3.00 x 3.00 x 2.00 m, que servirá como punto de abastecimiento a través de un canal conductor de ingreso de 6.50 x 0.50 x 0.20 m. Este ingreso se encuentra en una cota superior a la del bofedal por lo que no se requiere de sistemas de bombeo.

El flujo de ingreso deberá ser laminar (0.5 -1 l/s) y será ajustado con los niveles de la “poza de recepción primaria”, para cuyo caso se cuenta con infraestructura rompe-presión al ingreso al sistema.

Se colocarán sistemas de distribución a través de tubos de 2” de diámetro y en secuencia cada una con separación de 1.5 m. Estos tubos permiten el paso de agua de cada sección a la siguiente.

El nivel hidráulico será conseguido con la descarga de agua de la sección final, la cual deberá mantener el sistema de descarga igual al nivel de ingreso, con un aliviadero para los excesos de agua durante las épocas de lluvias.

#### **Restauración de la biodiversidad**

Para el lograr que la biodiversidad del bofedal sea restaurada se desarrollarán las siguientes acciones:

- Número de plantas recuperadas del área o bofedal afectado y resembradas en el bofedal de compensación. Su desarrollo será evaluado en el nuevo bofedal en base a vigor (altura de canopia). Evaluación mensual durante el primer año y luego bimensual durante dos años siguientes.
- Número de nuevas plantas sembradas de las especies hidrófitas de las zonas aledañas al bofedal a compensar. Su desarrollo será evaluado en el nuevo bofedal en base a vigor (altura de canopia). Evaluación mensual durante el primer año y luego bimensual durante dos años siguientes.
- Biodiversidad, será evaluado con las mediciones de la composición de especies. Estas evaluaciones se efectuarán trimestralmente durante el primer año y luego semestralmente por dos años adicionales.

El ecosistema bofedal a ser compensado solamente cuenta con escasas plantas de *Ditischia muscoides* en mal estado de conservación. Se espera aumentar su variedad trasladando otras especies desde el bofedal a impactar. La recuperación de las plantas del bofedal se efectuará con una técnica muy delicada que no dañe la parte radicular ni área de las mismas en lo posible, asegurando que puedan mantenerse sus condiciones fitomorfológicas.

Las plantas recuperadas serán trasladadas a la zona del bofedal de compensación y resembradas bajo condiciones manuales, sobre suelo hidratado completamente. El sistema de siembra será siguiendo la técnica de tresbolillo con espaciamientos de 1 m. Se incluirán la siembra de *tiphas* propias de la zona y otras muy cercanas a las del bofedal a compensar.

Para evaluar el crecimiento biológico de las plantas se efectuará con mediciones del desarrollo y composición de especies por transectos lineales, en cada sección del bofedal.

El requerimiento inicial es de 6,500 plantas de especies hidrófitas, muchas de las cuales vienen asociadas de mayor densidad como *Ditischia muscoides*.

#### 4.5.2 Medidas de conservación

##### **Mejora del estado de conservación del bofedal a compensar**

Para el mejoramiento del estado de conservación del bofedal a compensar se tienen programas de mantenimiento semestrales luego de la temporada lluvia y temporada seca.

El mantenimiento del bofedal a compensar se da con la poda de las especies de plantas que no muestren el vigor de canopia aparente como muestras de marchitez. La altura de canopia deberá ser de 0.5 m.

Se evaluará el crecimiento bacterias anaeróbicas y algas que cooperan a mejorar las propiedades del agua. La evaluación de estas se efectuará bimensual durante el primer año y posteriormente semestralmente.

### **Prevención y protección de la funcionalidad y biodiversidad frente a amenazas e impactos**

El ecosistema del bofedal a compensar está ubicado en área bajo titularidad de MINSUR, sin embargo, para protegerlo frente a impactos de animales o pastoreo, se prevé el cercado del mismo con postes y alambrado de púas.

Así mismo se colocarán avisos indicativos de zona de estudio del bofedal de compensación y se habilitará un solo camino de acceso para el mismo. El cerco evitará la manipulación directa de las plantas hidrófitas que crecen en él y también permitirá dar seguridad a los visitantes al mismo, evitando su ingreso directo.

#### 4.5.3 Análisis de riesgos e incertidumbres del proyecto

Para evaluar los riesgos de pérdida del ecosistema bofedal se consideran aspectos claves como la rareza del ecosistema, su vulnerabilidad, la imposibilidad de reemplazo, su complejidad y la fragilidad del ecosistema. En la Tabla 4 se presenta el nivel de riesgo estimado para cada aspecto.

**Tabla 4:** Riesgo de pérdida de especies de flora del ecosistema bofedal a ser compensado

Aspecto	Riesgo Alto	Riesgo Medio	Riesgo bajo
Rareza			X
Vulnerabilidad			X
Imposibilidad de reemplazo			X
Complejidad		X	
Fragilidad del ecosistema		X	

**FUENTE:** Yaku Consultores, 2016.

Las consideraciones que se tienen de cada uno de los aspectos de riesgo de pérdida de las especies de flora del bofedal son:

- Rareza: las especies de plantas hidrófitas están presentes en las zonas de bofedales de la UM San Rafael. Por tanto, son abundantes y frecuentes.
- Vulnerabilidad: el bofedal se encuentra lejano a las operaciones mineras, no siendo susceptibles de alteraciones. El bofedal podría ser vulnerable a pastoreo y como fuente de bebida de animales, pero para ello se ha diseñado un plan de protección del mismo con postes y alambrado de púas que evite el ingreso de animales y personas al mismo.
- Imposibilidad de reemplazo: este aspecto es de riesgo bajo ya que las plantas hidrófitas y gramíneas especificadas son muy frecuentes en la zona y la posibilidad de reemplazo por deficiencias de crecimiento o marchitez es posible. Este reemplazo será manualmente y dentro del programa de mantenimiento del bofedal.
- Complejidad del ecosistema: se tiene un riesgo regular dado que se cuenta con especies nativas que pueden tener algún problema de adaptación primaria al nuevo bofedal durante la primera siembra. La complejidad se encuentra en la manera de siembra asociada al factor sustrato, el cual será preparado previo a la recepción de la planta en el nuevo hábitat.
- Fragilidad del ecosistema: la fragilidad del ecosistema presenta un riesgo regular. Los aspectos que pudieran dar la fragilidad del sistema y la manera de evaluar los mismos son: régimen hidráulico, integridad biótica, funcionalidad hídrica y estabilidad del sistema.

Los riesgos asociados a la fragilidad del ecosistema y la evaluación y/o control de los mismos son descritos a continuación:

- Régimen hidráulico: El manejo de un bofedal se da principalmente por el régimen hidráulico de todos los recursos hídricos aportantes (agua de suministro, lluvias, aporte subterráneo y otros), como de las pérdidas (evaporación y pérdidas por infiltración y salpicaduras por bordes).

Se efectuará un balance hídrico para época de estiaje y época de lluvia, de manera de poder regular los caudales de ingreso y salida del mismo, que mantengan el nivel hidráulico en lo requerido para mantener las condiciones óptimas de funcionamiento del mismo.

- Integridad biótica: Las deficiencias en régimen hídrico, eventos climatológicos adversos, pueden disminuir la integridad de la biota presente en el bofedal a compensar.

Las evaluaciones planteadas permitirán mantener un sistema de evaluación para poder prevenir eventos sobre la biota presente en el mismo.

Frente a eventos adversos no comunes se deberán tener consideraciones especiales como recubrimientos tipo invernadero y/u otros que no permitan el daño de la estructura biótica del bofedal.

- Funcionalidad hidrológica: La funcionalidad hidrológica puede verse alterada por contaminación de las aguas y eventos sísmicos que rompan la estructura física e hidráulica.

La evaluación frecuente del bofedal permitirá mantener la información frente a cambios en la calidad del agua que nutre al bofedal.

- Estabilidad del sistema: La estabilidad del bofedal y el sistema implementado puede verse afectada por erosión, pérdida de grado de cobertura del suelo, plantas invasoras, fragmentación del hábitat y la diversidad, para los cuales se evaluarán los siguientes aspectos:

- Signos de erosión: Se evaluará todo el sistema de infraestructura física permanentemente durante la etapa de operación por el personal asignado al mismo. Cualquier requebro o pérdida de material será inmediatamente compensado y reestructurado para evitar daños posteriores al bofedal.
- Grado de cobertura de suelo: la evaluación visual del mismo permitirá mostrar los indicativos de falta de cobertura, la cual se remediará con la resiembra de plantas nativas hidrófitas, evitando los espacios libres.
- Presencia de Plantas invasoras: las plantas invasoras serán separadas manualmente del ecosistema bofedal por el personal asignado al cuidado del ecosistema bofedal.
- Fragmentación del hábitat: la fragmentación del hábitat se puede dar por fallas en el régimen y curso hidráulico. Se evaluará constantemente los niveles hidráulicos de las secciones del bofedal, evitando en todo momento que se presenten canalizaciones por deficiencias en la distribución del agua de ingreso al mismo. Esta corrección se efectuará manualmente y con ayuda de herramientas manuales que permitan liberar taponamientos de los tubos conductores y pases hidráulicos.
- Diversidad: la diversidad de especies hidrófitas y gramíneas será evaluada periódicamente.

En caso de mostrar una deficiencia en la presencia de las especies que debieran desarrollar se programará su resiembra, de acuerdo a la estructura biótica de diseño del ecosistema bofedal.

#### 4.5.4 Indicadores de éxito

Para evaluar los indicadores de éxito del ecosistema bofedal se deben considerar y ponderar aspectos claves como los que se presentan en la Tabla 5.

**Tabla 5:** Aspectos clave para el éxito del plan de compensación

Aspecto	Nivel
Significancia del impacto	Leve
Disponibilidad de área	Disponible
Factibilidad	Factible

**FUENTE:** Yaku Consultores, 2016.

Las consideraciones que se tiene de cada indicador éxito:

- Significancia del impacto: se espera un nivel impacto residual leve ya que se prevé equiparar la pérdida de biodiversidad y funcionalidad que pueda generarse debido a la evaluación previa de aspectos de: rareza, imposibilidad de reemplazo, vulnerabilidad, fragilidad y complejidad con un saldo positivo.
- Disponibilidad de área: se cuenta con área disponible dentro de la propiedad de la MINSUR. El bofedal se ubica en una zona no se desarrolla actividad minera, presenta una pendiente de 3-5%, cuenta con un recurso hídrico a muy corta distancia y muestra una diversidad de especies muy cercana al área a compensar.
- Factibilidad: la compensación permitirá el beneficio ambiental de captura de carbono.

#### 4.5.5 Asignación de responsabilidades y responsables

Para ejecutar el plan de compensación se ha estimado el equipo necesario para la elaboración de los diseños definitivos, así como para la ejecución de la obra y su operación, los cuales se presentan en la Tabla 6.

**Tabla 6:** Asignación de responsabilidades

Etapa	Profesionales	Técnicos	Obreros
Diseño del bofedal	Biólogo especialista en bofedales (01) Ing. Ambiental (01)	Cadistas (01) Técnicos Ambientales (02)	Agricultor de la zona (02)
Construcción de la infraestructura	Biólogo especialista en bofedales (01) Ing. Ambiental (01) Ing. Civil (01)	Maestro de obra construcción civil (01) Operador de maquinaria pesada (01). Conductor de volquete (01) Técnicos ambientales (02)	Operarios de construcción civil (06)
Operación del bofedal	Biólogo especialista en bofedales (01) Biólogos especialistas en flora altoandina (02)	Técnicos ambientales (02)	Agricultor de la zona (02).

FUENTE: Yaku Consultores, 2016.

#### 4.6. Proyección del estado y valor ecológico

Los beneficios esperados con el plan de compensación son de carácter potencial y de difícil proyección y valoración objetiva.

Los bofedales prestan el servicio ambiental de captación de carbono, el cual podría ser medible en base al desarrollo de la florística del ecosistema, adicionalmente el desarrollo de plantas hidrófitas en estos ecosistemas permiten la visita de diferentes aves que se nutren de las mismas, como parte de la cadena trófica, conformándose en un beneficio directo a las especies asociadas al ecosistema.

En la Figura 18 se muestran los bienes y servicios ecosistémicos sustitutos asociados al plan de compensación.



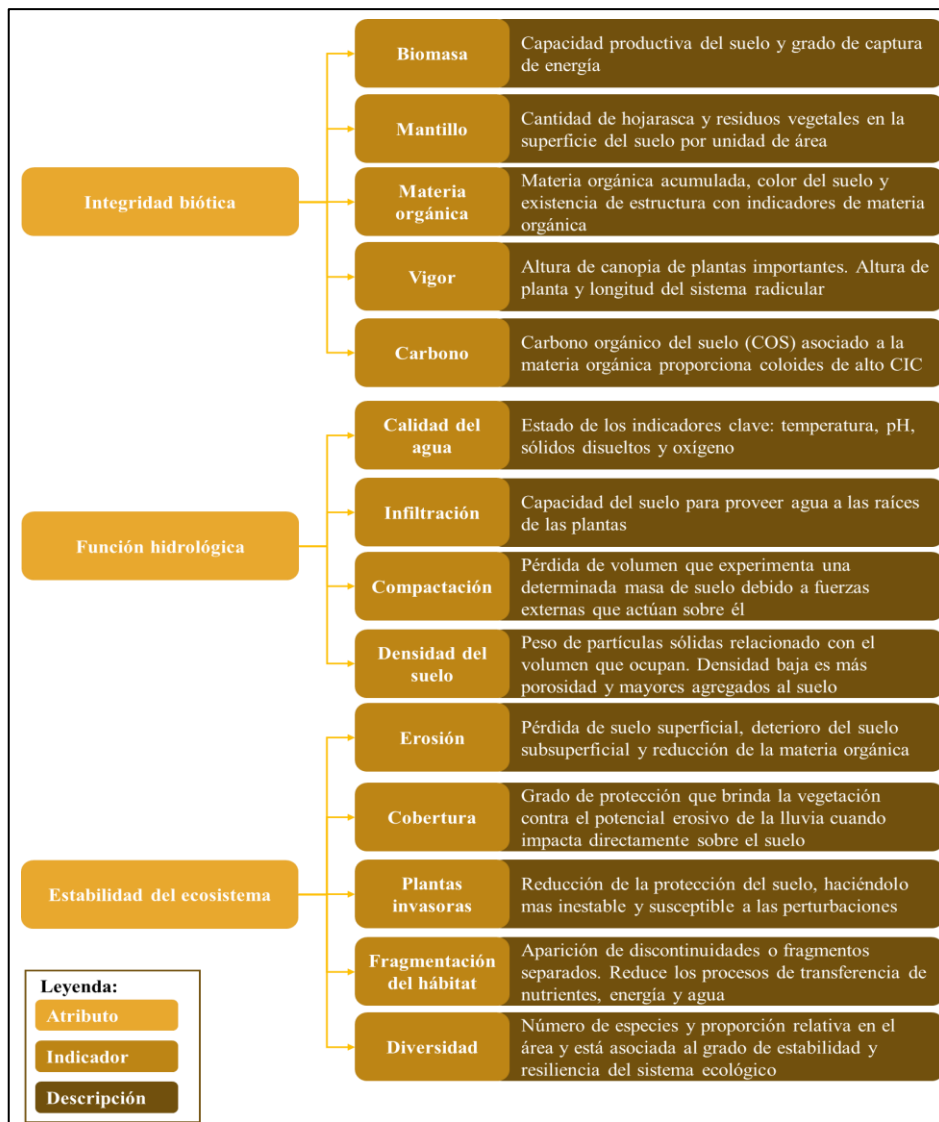


**Figura 18.** Bienes y servicios sustitutos asociados al plan de compensación  
**FUENTE:** Adaptado de Yaku Consultores, 2016.

#### 4.7. Resultados esperados

Después de realizar la resiembra de la flora hidrófita en el bofedal se evaluará el éxito del plan de compensación, el cual será más evidente después de haber transcurrido tres años como mínimo, ya que dependerá del establecimiento y regeneración de la flora propia de un bofedal.

En la Figura 19 se presentan todos los atributos e indicadores usados para evaluar el plan de compensación del bofedal, así mismo en la Tabla 7 se muestran los resultados esperados por cada año.



**Figura 19.** Descripción conceptual de los indicadores por cada atributo  
**FUENTE:** Adaptado de Yaku Consultores, 2016.

En las áreas de trasplante se realizarán monitoreos en cada sección del bofedal, que ayudarán a identificar áreas que puedan requerir medidas de mitigación ante impactos negativos. Asimismo, proveerá información que permita conocer la eficacia de las actividades de manejo implementadas.

Para este proyecto, las técnicas de monitoreo se basarán en la determinación del desarrollo y composición de especies durante la época seca y época húmeda en los tres primeros años y un monitoreo anual a partir de cuarto año.

**Tabla 7:** Evaluación de todos los atributos e indicadores del plan de compensación del bofedal

Atributo	Indicador	Parámetros	Método	Resultados esperados		
				1er año	2do año	3er año
Integridad biótica	Biomasa	Kg/m <sup>2</sup>	Corte y separación manual	Suelo: 0.4	Suelo: 0.5	Suelo: 0.6
				kg/0.008 m3	kg/0.008 m3	kg/0.008 m3
	Mantillo	Kg/m <sup>2</sup>	Corte y separación manual	Aérea 5 kg/m2	Aérea 5 kg/m2	Aérea 5 kg/m2
				5 - 8	5 - 8	5 - 8
	Vigor	Cm	Altura de la canopia plantas clave	0.5 - 1.0 m	0.5 - 1.5 m	0.5 - 2.0 m
Materia orgánica	%	Oxidación con dicromato de potasio	0.9 - 1.0	0.9 - 2.0	0.9 - 4.0	
Carbono	t Carbono / m <sup>3</sup>	Estimado a partir de la materia orgánica	0.020 - 0.40	0.040 - 0.80	0.080 - 0.12	
Función hidrológica	Calidad del agua	Parámetros químicos	Análisis laboratorio parámetros ECA	Cumple ECA. Categoría 3	Cumple ECA. Categoría 3	Cumple ECA. Categoría 3
		Parámetros físico químicos: O2, pH, sólidos disueltos, temperatura	kit multiparámetro	O2 > 4 mg/l pH 6.5-8.5 TDS < 2000 mg/l T°C 10-20°C	O2 > 4 mg/l pH 6.5-8.5 TDS < 2000 mg/l T°C 10-20°C	O2 > 4 mg/l pH 6.5-8.5 TDS < 2000 mg/l T°C 10-20°C
		Suelos Hídricos	Temperatura y oxígeno de fondo	Sonda de temperatura y oxígeno	T° C 20-25°C O2 < 1 mg/l	T° C 20-25°C O2 < 1 mg/l

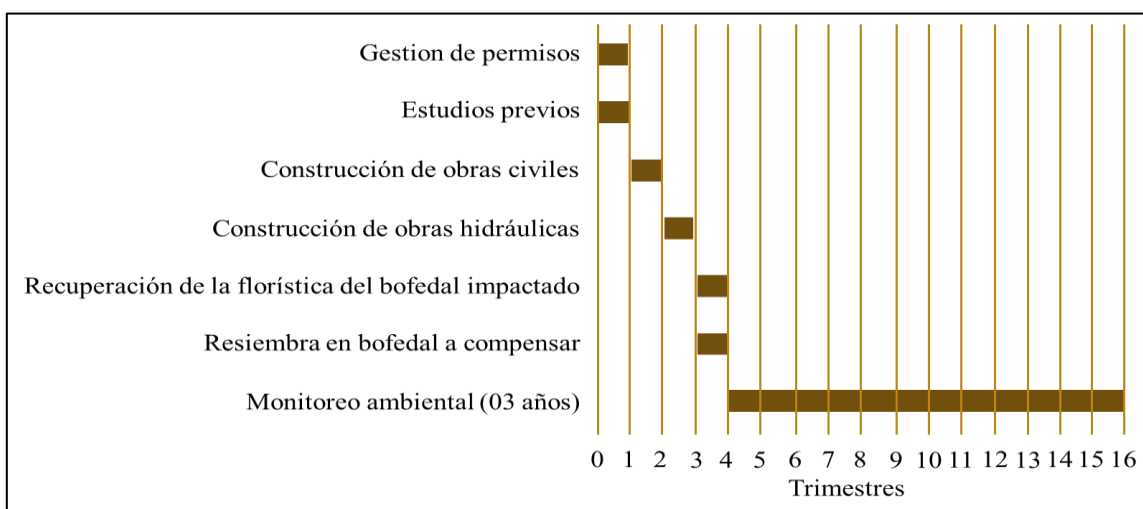
Continuación ...

Atributo	Indicador	Parámetros	Método	Resultados esperados		
				1er año	2do año	3er año
	Capacidad de infiltración	Tasa de infiltración cm/seg	Infiltrómetro	1 cm / 15 - 20	1 cm / 15 - 20	1 cm / 15 - 20
	Grado de compactación	%	Penetrómetro	< 20 - 30	< 20 - 30	< 20 - 30
	Densidad del suelo	g/cm <sup>3</sup>	Método del cilindro	1.6 - 1.7	1.6 - 1.7	1.6 - 1.7
	Signos de erosión	%	Apreciación visual	< 2	< 2	< 2
	Grado de cobertura del suelo	%	Método del cuadrante CSU	60 - 70	60 - 70	60 - 70
Estabilidad del ecosistema	Plantas invasoras	% de plantas	Marco puntual modificado	< 3	< 3	< 3
	Fragmentación del hábitat	Nº parches/área	Apreciación visual y fotogrametría	< 2/m <sup>2</sup>	< 2/m <sup>2</sup>	< 2/m <sup>2</sup>
	Diversidad	Especies, balance y número	Índice de Shannon	2 - 3	2 - 3	2 - 3

FUENTE: Yaku Consultores, 2016.

#### 4.8. Cronograma y presupuesto

La Figura 20 presenta el cronograma para la implementación del esquema de compensación propuesto. Como se puede apreciar, las actividades de recuperación deben darse luego de la construcción de las obras civiles e hidráulicas para que su posterior resiembra sea exitosa, asimismo, esta actividad debe darse antes de que el bofedal sea impactado para asegurar que se rescate el mayor número de posible de especies. El proyecto culmina a los tres años, cuando los monitoreos demuestran que el ecosistema se ha cumplido con su recuperación y se encuentra estable para mantenerse en el tiempo.



**Figura 20.** Cronograma de implementación  
**FUENTE:** Adaptado de Yaku Consultores, 2016.

Por otro lado, las actividades propuestas han sido presupuestadas para asegurar que el proyecto minero lo considere dentro de su presupuesto global y se cuente con el dinero suficiente su ejecución y mantenimiento en campo. En la Tabla 8 se presenta el detalle del presupuesto, el cual asciende a USD 83,146.8.

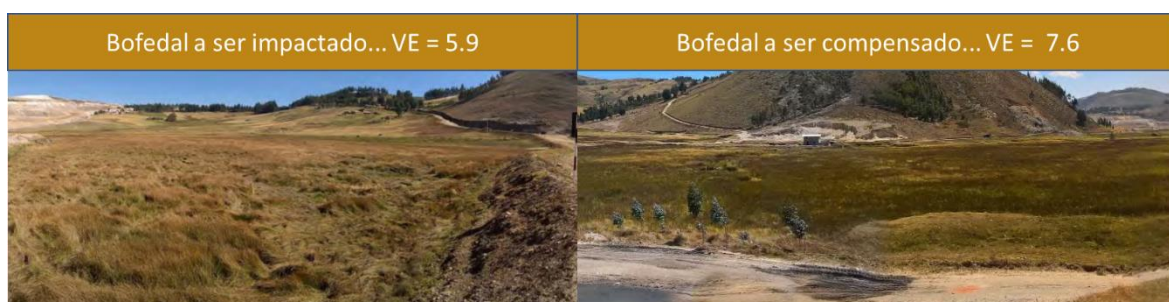
**Tabla 8:** Presupuesto de implementación de bofedal

Descripción	Unidad	Cantidad	Frecuencia	N° lugares	Unitario US\$	Total US\$
Evaluación de suelos hídricos.	monitoreo	54	Semestral	1	50.00	5,400.00
<b>Habilitación de infraestructura física</b>						
Acarreo de tierra arcillosa	m <sup>3</sup>	185	Única vez	1	15.00	2,775.00
Armado de bordes	jornales	150	Única vez	1	50.00	7,500.00
Conformación de ingresos, descarga y bordes internos	jornales	50	Única vez	1	50.00	2,500.00
<b>Habilitación de sistema hidráulico</b>						
Adquisición de materiales: tuberías y accesorios	General	58	Única vez	1	37.00	2,146.00
Armado de sistema hidráulico	jornales	50	Única vez	1	50.00	2,500.00
<b>Revegetación con especies hidrófitas nativas de la microcuenca</b>						
Recolecta de plantas	jornales	43	Única vez	1	50.00	2,150.00
Resiembra de plantas	jornales	56	Única vez	1	50.00	2,800.00
Monitoreo Ambiental	monitoreo	5	Semestral	1	850.00	25,500.00
<b>Gastos administrativos</b>						
Transporte y viáticos del personal	General	349	Única vez	1	33.00	11,517.00
Asesoría Técnica	honorarios	1	Única vez	1	6500.00	6,500.00
Exámenes médicos, EPP y otros	General	1	Única vez	1	4300.00	4,300.00
Sub total						75,588.00
Contingencias (10%)						7,558.80
<b>Total (US\$)</b>						<b>83,146.80</b>

FUENTE: Yaku Consultores, 2016.

#### 4.9. Discusión de resultados

Al comparar los resultados obtenidos de VE para los bofedales del presente estudio con los ejemplos de planes de compensación de la MEIA del proyecto La Arena y la MEIA del proyecto Antapacay Expansión Tintaya – Integración Coroccohuayco, se puede observar que estos valores son visualmente proporcionales a sus estados de conservación. En las siguientes figuras se presenta las fotografías y VE de los bofedales a ser impactados y a ser compensados de ambos ejemplos.



**Figura 21.** VE de los bofedales del plan de compensación de la MEIA del proyecto La Arena.  
**FUENTE:** Adaptado de Stantec, 2016.



**Figura 22.** VE de los bofedales del plan de compensación de la MEIA del proyecto Antapacay Expansión Tintaya – Integración Coroccohuayco.  
**FUENTE:** Adaptado de Golder Associates, 2019.

En cuanto a las medidas de compensación establecidas en el presente plan de compensación se encuentran relacionadas principalmente con la reubicación de especies claves, el abastecimiento continuo de agua (para lo cual se construirá estructuras hidráulicas), protección del área durante el proceso de compensación y mantenimiento continuo. Estas medidas también han sido adoptadas en los dos ejemplos de planes de compensación tomados como referencia, en los que también se ha considerado la reubicación de especies y estructuras adicionales para asegurar irrigación del área de manera continua como principales pilares. En estos ejemplos también se incluyeron actividades como programas de educación ambiental, capacitaciones a poblaciones cercanas para mejorar su manejo de bofedales, entre otros, los cuales responden a la realidad específica de sus proyectos y a la

extensión total del área a compensar (237.35 ha y 53.32 ha), la cuales significativamente mayor a las del presente estudio (1.2 ha).

El seguimiento y rigurosidad establecida en la medición de los resultados obtenidos el presente plan no se ha podido encontrar al mismo detalle en los dos ejemplos de planes de compensación identificados. En estos dos ejemplos se indica de manera general que los resultados se obtendrán principalmente al monitorear la presencia y composición de especies de flora y fauna, pero no se estiman valores esperados.

Si bien es cierto que este presupuesto es significativamente menor en comparación a los dos ejemplos tomados como referencia (ver Tabla 9), el precio unitario por hectárea a compensar es significativamente mayor en este plan. Esto puede deberse a que ha mientras más grande es el área donde se implementarán las medidas de compensación, existe mayor sinergia entre trabajos, disminuyendo costos unitarios. Otro factor importante para considerar es la envergadura de los trabajos a realizar en campo, lo cual se ve reflejado en el cronograma constructivo, y en consecuencia en los costos.

**Tabla 9:** Comparación de costo por hectárea de área a compensar

Estudio de Impacto Ambiental	Área a compensar	Presupuesto	USD / hectárea	Cronograma constructivo
MEIA Antapacay	237.35 ha	600,300 USD	2,529	2 año
MEIA La Arena	53.32 ha	250,000 USD	4,689	1 año
MEIA UMSR	1.12 ha	83,146 USD	74,238	1 año

**FUENTE:** Golder Associates Peru, 2019. Stantec, 2016 y Yaku Consultores, 2016.



## V. CONCLUSIONES

1. En el presente trabajo se estimó el valor ecológico de los bofedales impactados por la construcción del depósito de relaves B4 (5 und) y del bofedal a ser compensado (1.4 und) siguiendo la metodología de la Guía general para el plan de compensación del MINAM. Asimismo, se calcularon las unidades de compensación requeridas para cumplir con un adecuado Plan de Compensación Ambiental (1.12 ha).
2. En base a los resultados obtenidos en campo y a los cálculos realizados para obtener el valor ecológico y las unidades de compensación, se determinaron medidas de compensación acordes con la realidad del bofedal a compensar, entre las que se encuentran el mejoramiento del estado de conservación del bofedal y la preservación y protección de la biodiversidad de los ecosistemas frente a amenazas e impactos.
3. Se propusieron medidas de monitoreo específicas para evaluar la eficacia del plan de compensación en un periodo de tres años, considerando cada uno de los indicadores de los tres atributos asignados a estos ecosistemas (integridad biótica, función hidrológica y estabilidad del ecosistema), a los cuales se les asignaron valores esperados que determinarán el éxito de las medidas.

## **VI. RECOMENDACIONES**

1. Si bien los resultados obtenidos para la estimación del valor ecológico de los bofedales son coherentes con la realidad y proporcionales a valores obtenidos en otros proyectos, se recomienda que para futuros trabajos de estimación de valores ecológicos se realicen mediciones específicas indicadas en la guía del MINAM en ambas temporadas del año (época húmeda y época seca) para mejorar la precisión en los resultados.
2. Para la estimación del valor ecológico del bofedal a compensar con las medidas aplicadas, se deberá utilizar la metodología de la Guía complementaria para la compensación ambiental: Ecosistemas Altoandinos, la cual se encuentra actualmente vigente.
3. Los resultados y evolución del plan de compensación ambiental deberían ser presentados de forma pública por el titular minero, de manera que las experiencias positivas y lecciones aprendidas puedan ser utilizadas para futuros proyectos alrededor del país y la posibilidad de éxito en estos planes sea mayor.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alegría Calvo, M. A., Pozo Torres, V. L., Rojas García, M. F., & Lillo Zenteno, A. (2000). *Protección de humedales (vegas y boedales) en el norte de Chile*. 1–15.
- Amábilis-Sosa, L. E., Siebe, C., Moeller-Chávez, G., & Durán-Domínguez-De-Bazúa, M. D. C. (2015). *Remoción de mercurio, cromo y plomo por humedales artificiales inoculados con cepas tolerantes*. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 6(2), 21–34.
- Bergkamp, G., & Orlando, B. (1999). *Wetlands and Climate Change. Exploring collaboration between the Convention on Wetlands (Ramsar, Iran 1971) and the UN Framework Convention on Climate Change*. 104(7), 2351. <https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/dn1999-9papere.pdf>
- Cadena-Gaona, J. A., Duque Yoscuá, S. D., Tovar Cortes, R. A., & Ballesteros Larrotta, T. M. (2019). *Valoración económica de los servicios ecosistémicos más importantes que ofrece el humedal Tibanica (Bogotá, Colombia)*. *Ambiente y Desarrollo*, 23(44). <https://doi.org/10.11144/Javeriana.ayd23-44.vese>
- Calvo Gómez, V. (2016). *MARCO CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO PARA ESTIMAR EL ESTADO DE SALUD DE BOFEDALES DE ALTA MONTAÑA* [Tesis para Optar por el Título de Ingeniero Zootecnista]. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2604>
- Castillo-Castañeda, M. F., & Agudelo-Valencia, R. N. (2020). *Artificial wetland planted with *Limonium Perezzi*, for the treatment of wastewater from tanning*. *Revista Facultad de Ingeniería*, 97, 103–108. <https://doi.org/10.17533/udea.redin.20200263>
- Conesa Fernández, V. (2010). *Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental*. In *Mundi-Prensa* (4ta Edición). <https://www.mundiprensa.com/catalogo/9788484763840/guia-metodologica-para-la-evaluacion-del-impacto-ambiental>

- Ley N° 27446, Ley del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental (20 de abril de 2001). <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Ley-Nº-27446.pdf>
- Ley N° 28611, Ley General del Ambiente 28611. (13 de octubre de 2005). <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Ley-N%C2%B0-28611.pdf>
- Decreto Supremo N° 019-2009-MINAM Aprueban reglamento de la ley 27466. (25 de setiembre de 2009). Normas Legales N° 403208. Diario Oficial El Peruano. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/ds-019-2009-minam-a.pdf>
- Decreto Supremo N° 040-2014-EM Reglamento de Protección y Gestión Ambiental para las Actividades de Explotación, Beneficio, Labor General, Transporte y Almacenamiento Minero (12 de noviembre de 2014). Normas Legales N° 537419. Diario Oficial El Peruano.
- Denegri-Muñoz, J. E., & Iannacone, J. (2020). Tratamiento De Drenaje Ácido De Minas Mediante Humedales Artificiales. *Biotempo*, 17(2), 345–369. <https://doi.org/10.31381/biotempo.v17i2.3349>
- Federal Geographic Data Committee. (2013). *Classification of Wetlands and Deepwater Habitats*. <https://www.fws.gov/wetlands/documents/Classification-of-Wetlands-and-Deepwater-Habitats-of-the-United-States-2013.pdf>
- Ferrer, Y. R. (2015). Seguimiento En El Tiempo De La Evaluación De Impacto Ambiental En Proyectos Mineros. *Luna Azul*, 42, 256–269. <https://doi.org/10.17151/luaz.2016.42.16>
- Gil Mora, J. E. (2011). *Bofedal: Humedal Altoandino de Importancia para el Desarrollo de la Región Cusco*.
- Golder Aassociados Peru. (2019). *MEIA ANTAPACCA Y EXPANSIÓN TINTAYA - INTEGRACIÓN COROCCOHUAYCO*. Lima.
- INEI. (2019). *Principales indicadores del sector minería e hidrocarburos, 2015-2019*. <http://m.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/mining-and-hydrocarbons/>
- MINAM. (2010). *Mapa Humedales del Perú.pdf*. <https://sinia.minam.gob.pe/mapas/mapa-humedales-peru-2010>

- MINAM (2015) *Estrategia Nacional de Humedales*. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2015/01/Anexo-Decreto-Supremo-N°-004-2015-MINAM2.pdf>
- MINAM. (2016). *Guía complementaria para la compensación ambiental en ecosistemas altoandinos*. Peru.
- MINAM. (2019). *Guía de evaluación del estado del Ecosistema de bofedal*. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/guia-evaluacion-estado-ecosistema-bofedal>
- MINEM. (2020). La Minería Peruana En Modo Covid-19. *Boletín Estadístico Minero*, 03–2020. <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/Mineria/PUBLICACIONES/VARIABLES/2020/BEMMAR20.pdf>
- MINSUR. (01 de Febrero de 2021). *Unidad Minera San Rafael*. Obtenido de <https://www.minsur.com/nuestras-operaciones/unidad-minera-san-rafael/#:~:text=Unidad%20Minera%20San%20Rafael%20%3A%20Minsur&text=San%20Rafael%20es%20la%20principal,de%20esta%20C3%B1o%20en%20el%20mundo>.
- Montes de Oca - Pérez, A., & Rosario - Ferrer, Y. (2014). Ontología de evaluación de impacto ambiental para proyectos mineros. *Minería y Geología Revista de Ciencias de La Tierra*, 104–118. <https://www.redalyc.org/pdf/2235/223531234008.pdf>
- Moran, R. (2001). Aproximaciones al costo económico de impactos ambientales en la minería. *Ambiente y Desarrollo*, 17, 59–66. <https://remwater.org/wp-content/uploads/2015/10/Aproximaciones-al-Costo-Económico-de-Impactos-Ambientales-en-la-Minería.-Algunos-ejemplos-en-Estados-Unidos-y-Canadá-Ambiente-y-Desarrollo.-.pdf>
- Osorio Múnera, J. D. (2006). El Método de Transferencia de Beneficios para la Valoración Económica de Servicios Ambientales: Estado del Arte y Aplicaciones. *Semestre Económico - Universidad de Medellín*, 18, 107–124. <https://revistas.udem.edu.co/index.php/economico/article/view/881>
- Resolución Ministerial N° 066-2016-MINAM - *Guía General para el Plan de Compensación Ambiental*. (11 de marzo de 2016). Normas Legales N° 580800. Diario Oficial El Peruano.

<https://busquedas.elperuano.pe/download/full/6m6JmXraaoZAIZwhgBKhVz>

Salvador, F., Moneris, J., & Rochefort, L. (2015). Peatlands of the Peruvian Puna ecoregion: Types, characteristics and disturbance. *Mires and Peat*, 15.

Squeo, F., Warner, B., Aravena, R., & Espinoza, D. (2006). Bofedales: high altitude peatlands of the central Andes. *Revista Chilena de Historia Natural*, 11 pp. <https://doi.org/10.4067/S0716-078X2006000200010>

Stantec. (2016). *MEIA Proyecto La Arena*. Lima.

Suarez Duque, D., Acurio, C., Chimbolema, S., & Aguirre, X. (2016). Análisis Del Carbono Secuestrado En Humedales Altoandinos De Dos Áreas Protegidas Del Ecuador. *Ecología Aplicada*, 15(2), 2016. <http://dx.doi.org/10.21704/rea.v15i2.756>

U.S. Geological Survey. (2020). Mineral commodity summaries 2020. In *U.S Department OF The Interior, U.S Geological Survey* (Issue 703). <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2020/mcs2020.pdf>

Yaku Consultores. (2016). *Modificación del Estudio de Impacto Ambiental-Reaprovechamiento de Relaves de la Unidad Minera Nueva Acumulación Quenamari-San Rafael*. Lima.

Yaranga, R. (2020). Humedal Altoandino del Perú: Diversidad florística, productividad primaria neta aérea, condición ecológica y capacidad de carga. *Scientia Agropecuaria*, 11(2), 213–221. <https://doi.org/10.17268/SCI.AGROPECU.2020.02.08>

## **VIII. ANEXOS**

Los anexos contienen publicaciones de otras instituciones, mapas, registros, firmas y huellas digitales. Por este motivo favor de revisar el texto completo disponible en la Sala Tesis de BAN UNALM.