

**INFORME N° 261-2019-OEFA/DEAM-SSIM**

A : **FRANCISCO GARCÍA ARAGÓN**
Director de Evaluación Ambiental

DE : **ARMANDO MARTÍN ENEQUE PUICÓN**
Subdirector de Sitios Impactados

LLOJAN CHUQUISENGO PICON
Coordinador de Evaluaciones Ambientales en Energía

ANGIE VALESKA TERESA RUIZ PEÑA
Asistente Legal

ASUNTO : Evaluación ambiental temprana en el área de influencia del proyecto central hidroeléctrica Laguna Azul de empresa central hidroeléctrica Mamacocha S.R.L., durante el 2018 y 2019.

CUE : 2018-03-0013

CÓDIGO DE ACCIÓN : 016-9-2018-401
014-10-2018-401
0009-4-2019-402
0007-6-2019-402

REFERENCIA : Planefa 2019¹

FECHA : Lima, 25 de julio de 2019

Tenemos el agrado de dirigirnos a usted para informarle lo siguiente:

1. INFORMACIÓN GENERAL

Los aspectos generales de la evaluación ambiental temprana en el área de influencia del proyecto central hidroeléctrica Laguna Azul se presentan en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1. Datos generales de la actividad realizada

a.	Zona evaluada	Distrito de Ayo, provincia de Catilla, departamento de Arequipa
b.	Unidades fiscalizables/ actividades económicas en la zona de estudio	Área de influencia del proyecto Central Hidroeléctrica Laguna Azul.
c.	Problemática identificada	Acción preventiva en el proyecto Central Hidroeléctrica Laguna Azul, a fin de conocer el estado de la calidad ambiental del área de influencia
d.	La actividad se realizó en el marco de	Planefa 2019
e.	Periodo de ejecución	Del 16 al 21 de setiembre de 2018 Del 16 al 24 de octubre de 2018 Del 29 de abril al 08 de mayo de 2019
f.	Tipo de evaluación	Evaluación ambiental temprana

¹ Aprobado mediante Resolución de Consejo Directivo N.º 007-2019-OEFA/CD, del 16 de febrero de 2019, a través del cual «Aprueban el Plan Anual de Evaluación y Fiscalización Ambiental» – Planefa del OEFA correspondiente al año 2019».



Profesionales que aportaron al estudio

Tabla 1.2. Listado de profesionales

N.º	Nombre y Apellidos	Profesión	Actividad desarrollada
1	Armando Martín Eneque Puicón	Biólogo	Gabinete
2	Llojan Chuquisengo Picón	Lic. químico	Gabinete
3	Janet Brígida Quincho Olazábal	Ing. agrícola	Campo y gabinete
4	Cesar Gregorio Espíritu Limay	Lic. químico	Gabinete
5	Rolando Benjamín Pacheco Castañeda	Lic. en ciencias de la información	Campo y gabinete
6	Jessica Adela Espino Ciudad	Bióloga	Campo y gabinete
7	Jhony Ríos García	Biólogo	Campo y gabinete
8	Alfredo Leonardo Guzmán Caldas	Biólogo	Campo y gabinete
9	Dany Chunga Benavides	Biólogo	Campo y gabinete
10	Gerardo Dydson Herrera Yapó	Ing. ambiental y sanitario	Campo y gabinete
11	Fray Luis Yanapa Huaquisto	Bachiller en ing. geológica	Campo y gabinete
12	Víctor Chama Moscoso	Biólogo	Campo y gabinete
13	Lucila Nathali Pinto Cieza	Ing. ambiental	Gabinete
14	Angie Valeska Teresa Ruiz Peña	Bachiller en derecho	Gabinete

2. DATOS DE LA ACTIVIDAD REALIZADA

Los parámetros y matrices evaluadas en la evaluación ambiental temprana en el área de influencia del proyecto central hidroeléctrica Laguna Azul se presentan en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Parámetros y matrices evaluadas

Matriz evaluada	Fecha	Parámetros evaluados	Cantidad de puntos /zonas evaluadas
Agua superficial	Octubre 2018 - primera ejecución	pH, CE, OD, temperatura, bicarbonatos, carbonatos, cloruros, fluoruros, sulfatos, fosfato, silicatos, nitrógeno amoniacal, sólidos totales disueltos, sólidos totales suspendidos, metales totales, metales disueltos	14
		Aceites y grasas	12
		Demanda química de oxígeno	7
		Bifenilos Policlorados (PCB)	3
	Mayo 2019 - segunda ejecución	pH, CE, OD, T, parámetros fisicoquímicos, metales totales, metales disueltos	12
		pH, temperatura, oxígeno disuelto, metales totales, metales disueltos, silicatos, DQO, sulfatos, cloruros, bicarbonatos, carbonatos y nitrógeno amoniacal	12
		Sólidos totales suspendidos, sólidos totales disueltos	6
		Aceites y grasas	2
		PCB	1
Sedimento	Octubre 2018 - primera ejecución	Metales totales	3
		Materia orgánica	2
Geología	Octubre 2018 - primera ejecución	Puntos de observación geológica	12
Comunidades hidrobiológicas	Octubre 2018 - primera ejecución	Perifiton	10
		Macroinvertebrados bentónicos	9
		Zooplancton	3
		Fitoplancton	3



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

Matriz evaluada	Fecha	Parámetros evaluados	Cantidad de puntos /zonas evaluadas
	Mayo 2019 -segunda ejecución	Perifiton	7
		Macroinvertebrados bentónicos	9
		Zooplancton	2
		Fitoplancton	2
		Necton	3
		Metales Totales (incluido Hg) en músculo de peces	2
Flora	Mayo 2019 - única ejecución	13 transectos	3 zonas
Herpetología	Mayo 2019 - única ejecución	16 búsquedas por encuentros visuales (VES)	3 zonas
Ornitología	Mayo 2019 - única ejecución	12 búsquedas intensivas y 3 redes de niebla	3 zonas
Mastozoología	Mayo 2019 - única ejecución	10 cámaras trampa y 4 recorridos	3 zonas

Los parámetros que excedieron la normativa en la evaluación ambiental temprana en el área de influencia del proyecto central hidroeléctrica Laguna Azul de se presentan en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2. Parámetros que exceden normativa ambiental

Matriz	Cuerpo de agua	Código	Código IGA	Norma ambiental	
		OEFA		IGA y vigente	
				Oct-18	May-19
Agua superficial ¹	Río Colca	RCol-1	--	Boro*	--
	Quebrada Subna	QSub-1	--	Manganeso**	--
Sedimento ²	Laguna Chachas	LCha1	--	Arsénico*** Plomo Mercurio total	--
	Laguna Mamacocha	LMam-2	--	Cobre***	--
	Río Mamacocha	RMam-3	--	Zinc	--

¹ La normativa ambiental del IGA corresponde a la normativa vigente de acuerdo con el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM

² Comparado referencialmente con la «Guía de Calidad Ambiental Canadiense para Sedimentos de Aguas Continentales» (*Canadian Environmental Quality Guidelines - Sediment Quality Guidelines for freshwater*)

(*) No cumple con los ECA para Agua, en la Categoría 3 (D1) del 2017

(**) No cumple con los ECA para Agua, en la Categoría 3 (D1 y D2) del 2017

(***) Incumple el valor PEL de la Guía de Calidad Ambiental Canadiense para Sedimentos de Aguas Continentales

3. PRINCIPALES CONCLUSIONES

- El principal ecosistema de agua dulce evaluado correspondió a la laguna Mamacocha, que presentó buena calidad de agua, sedimento y comunidades hidrobiológicas relacionado a un ecosistema frágil con presencia de formaciones vegetales que constituyen un complejo dinámico que brindan diversos servicios ecosistémicos (ecológicos² y económicos³), donde interactúan diferentes especies de flora y fauna endémicas y para la conservación. Se resalta la presencia de la «nutria andina o huallaque» *Lontra felina*, especie bandera del distrito de Ayo, la cual es indicadora del buen estado de conservación de la laguna.
- El área de evaluación de agua, sedimento y comunidades hidrobiológicas, evaluados en octubre de 2018 y mayo de 2019, se enfocó en la parte baja de la cuenca del río Mamacocha que abarcó puntos de muestreo en la descarga de la laguna Chachas (LCha-1), el río Chachas (RCha-1), la quebrada Subna (QSub-1), la laguna

² Regulación del clima, banco de semillas de especies protegidas, dispersión de semilla, polinización controladores de plagas.

³ Turismo ecológico y mejora de la calidad de vida de la población.



Mamacocha (LMam-1, LMam-2, LMam-3 y LMam-4), el río Mamacocha (RMam-2, RMam-3 y RMam-4) y el río Colca (RCol-1 y RCol-2). Además, se consideró el manantial sin nombre 1 (MSN-1), el canal de la descarga de la microcentral Ayo (DCMA-1) y el canal de riego Ayo (CAAyo-1 y CAAyo-2).

- Los parámetros fisicoquímicos de los citados puntos de muestreo cumplieron con los valores establecidos en los ECA para Agua 2017 de la categoría respectiva, a excepción del 2018 donde el manganeso excedió la Categoría 3 subcategorías D1 y D2 en la quebrada Subna (QSub-1) y el boro que excedió la Categoría 3 subcategoría D1 en el río Colca (RCol-1), antes de la confluencia con el río Mamacocha.
- La presencia de manganeso en la quebrada Subna (QSub-1) se debería al predominio de rocas intrusivas (minerales máficos) asociadas a zonas de alteración hidrotermal ubicadas en la naciente (cerro Jallhua) y al sureste (cerro Subna) de la quebrada Subna, donde predomina los óxidos de hierro (Fe^{3+}) y en menor proporción arcillas.
- Con respecto al boro registrado en el río Colca (RCol-1), aguas arriba de la confluencia con el río Mamacocha, estaría relacionado a la influencia de fuentes hidrotermales ubicadas en las márgenes del río Colca; sin embargo, su concentración disminuye aguas abajo de la confluencia con el río Mamacocha, debido a la ausencia o poca influencia de fuentes hidrotermales y aporte de agua de quebradas y ríos con bajas concentraciones de boro.
- El sustrato, profundidad de la columna de agua, caudal y disponibilidad de la materia orgánica de los ríos Mamacocha y Colca y la quebrada Subna (ambientes lóticos altoandinos) son factores abióticos que influyen en las reestructuraciones ecológicas estacionales, de las cuales están sujetas las comunidades hidrobiológicas; por lo que tienen gran variabilidad temporal, siendo el orden Ephemeroptera los de mayor riqueza y junto con el orden Diptera los más abundantes.
- El comportamiento hidroquímico y la concentración de metales pesados también influyen en la variación temporal de las comunidades hidrobiológicas en cuerpos lóticos, como ocurre con la dinámica de la cadena trófica (condiciones de ciclo alimentario) de la quebrada Subna (QSub-1) - relacionada con la disminución drástica del perifiton, por el cual en condiciones extremas se han adaptado organismos altamente tolerantes y de estrategia como la familia Chironomidae (larvas y pupas acuáticas de insectos como las moscas) asociadas a múltiples estrategias de alimentación; por lo que varios géneros se encuentran en aguas limpias con buena oxigenación y también son indicadores de contaminación con materia orgánica.
- La composición fisicoquímica de la laguna Mamacocha difiere de la descarga de laguna Chachas, el río Chachas, y la quebrada Subna, debido a que la resurgencia (flujo subsuperficial y de tipo local) que recarga la laguna Mamacocha en su recorrido de 18 km interacciona con rocas volcánicas andesíticas y andesitas basálticas y niveles sedimentarios calcáreos, areniscas y lutitas negras de las formaciones Socosani y Puente.
- La formación vegetal ribereña de la laguna y río Mamacocha impide un mayor efecto erosivo de las precipitaciones sobre material andesítico, lo que se ve reflejado en las bajas concentraciones de material suspendido e iguales condiciones fisicoquímicas a nivel espacial y temporal; a diferencia del río Colca que si registró variación debido al aporte del río Mamacocha, principalmente el cambio de facie hidroquímica y la disminución del elementos químicos relacionados a las fuentes hidrotermales como el boro.



- Con respecto a las comunidades hidrobiológicas en la laguna Mamacocha se registró mayor diversidad de fitoplancton (33 especies) que la laguna Chachas, en que dominan un número menor de especies como *Asterionella formosa* y *Aulacoseira granulata*. Asimismo, se aprecia una mayor diversificación de zooplancton.
- La diferencia de concentración de hierro y fósforo disuelto y los sólidos en suspensión influyen en las condiciones limnológicas de las lagunas, por lo que el phylum Cyanobacteria solo fue registrado en la laguna Mamacocha (posibles condiciones oligotróficas), mientras que la laguna Chachas registró algas Bacillariophyta (diatomeas) y una especie única de Orchophyta (*Mallomonas* sp.).
- La laguna Mamacocha registró macrofitas emergentes y sumergidas que aportan mayor cantidad de materia orgánica y junto con la mayor abundancia de perifiton permiten la alta diversidad de macroinvertebrados; mientras que la laguna Chachas registró macrofitas sumergidas y con sustratos de arena y canto rodado, favorecen la diversificación de macroinvertebrados como los Ephemeropteros en condiciones favorables.
- Las citadas diferencias limnológicas, fisicoquímica e hidromorfológica de la laguna Mamacocha, cuerpo de agua de mayor biodiversidad y poca dominancia de algún grupo en específico, permiten que tenga las condiciones favorable para ser un refugio con fines reproductivos y de alimentación del pejerrey de río, *Basilichthys semotilus*, que estaría migrando del río Colca, y por ende también a la presencia de la «nutria andina; no obstante, las microalgas bentónicas representarían un primer eslabón de suma relevancia para la cadena trófica de ambas lagunas.
- El manantial sin nombre 1 (MSN-1) y la descarga de la microcentral Ayo (DMCA-1) presentan características fisicoquímicas similares al río Mamacocha, por lo que no generan cambios fisicoquímicos al río, en cambio el canal de riego Ayo - aunque no llega a tributar al río Mamacocha-difiere en niveles de concentración de sulfatos, calcio, magnesio y estroncio por la formación geológica de su nacimiento en el cerro Oroscupio e interacción por la margen izquierda con el cerro Ccotocahuana.
- Finalmente, los sedimentos evaluados en octubre de 2018 en la laguna Chachas (LCha-1), laguna Mamacocha (LMam-2) y río Mamacocha (RMam-3) fueron comparados referencialmente con los estándares de la Guía canadiense para sedimentos de aguas continentales *Canadian Environment Quality Guidelines* [CEQG], en donde se resalta que en el punto LCha-1 superó el arsénico el valor PEL y plomo y mercurio total el valor ISQG; el punto LMam-2 superó el valor PEL para cobre; y en el punto RMam-3 el valor ISQG para zinc.
- La evaluación de flora y fauna silvestre se realizó en 3 zonas (zona-1, que incluye la Laguna Mamacocha (EF), el tramo inicial del río Mamacocha y formaciones vegetales asociadas; zona-2, que abarca gran parte de la zona media del río Mamacocha; y zona-3, que corresponde a la confluencia de los ríos Mamacocha y Colca) y 2 formaciones vegetales (monte ribereño y matorral desértico)
- Para flora silvestre se evaluaron cuantitativamente 13 transectos (9 en monte ribereño y 4 en matorral desértico); además, se registró cualitativamente especies que no fueron registradas en los transectos. Se registraron en total 74 especies agrupadas en 41 familias botánicas y 66 géneros (66 especies cuantitativamente y 8 especies fueron adicionados cualitativamente), donde las familias más diversas fueron Asteraceae, Poaceae y Cactaceae, los géneros más diversos fueron Solanum, Amaranthus, Baccharis y Plantago entre otras.



- La vegetación de monte ribereño fue la formación con mayor riqueza, con 64 especies; seguida del matorral desértico con 16 especies. Por otro lado, las especies con mayor abundancia relativa en el monte ribereño fueron *Schinus molle* «molle», *Escallonia angustifolia*, *Arundo donax* «carrizo» y *Ficus carica* «higo» y en matorral desértico, *Browningia candelaris*, *Cylindropuntia tunicata*, *Neoraimondia arequipensis* y *Haageocereus pluriflorus* (Cactaceae).
- Del total de especies, en la zona-1 se registró un total de 38 especies (27 especies en monte ribereño y 13 especies en matorral desértico), en la zona-2 se registró 39 especies (30 especies en monte ribereño y 10 especies en matorral desértico) y en la zona-3, solo 10 especies que corresponde a monte ribereño. Estas variaciones son debido a la cobertura vegetal; donde, la formación con mayor cobertura corresponde a monte ribereño (79,2 % para la zona-1, 90 % para la zona-2 y 30,5 para la zona-3), seguida del matorral desértico que registró entre 18,3 y 14 % de cobertura vegetal, debido a la mayor presencia de áreas descubiertos y dominado por roca y suelo.
- Dentro de las especies que se encuentran en algún grado de protección según normativas nacionales e internaciones, la presente evaluación reportó 18 especies de las 74 registradas, donde: 4 especies están en la categoría de Casi Amenazada (NT) según el D.S. N.º 043-2006AG; 14 especies en la categoría de Preocupación Menor (LC) y 2 en la categoría Datos Insuficientes (DD) según la IUCN (2019); 7 especies (todas ellas de la Familia Cactaceae) en los listados del apéndice II de la lista CITES (2017) y finalmente 3 especies endémicas para Perú según la Lista roja de especies para Perú.
- En el área de estudio se registraron 3 especies de reptiles, *Microlophus* sp. «lagartija» *Phyllodactylus gerrhopygus* «salamanqueja» y *Pseudalsophis elegans* «culebra de la costa». La amplia variedad de microhábitats que se presentan en el ecosistema de monte ribereño que circunda a la laguna Mamacochoa, permitió la mayor diversidad de especies de reptiles en el área estudio.
- *Microlophus* sp. «lagartija» fue la especie más abundante en toda el área de estudio; asimismo, se necesitan estudios especializados para la correcta identificación de *Microlophus* sp. «lagartija», de forma que permita su estado actual y protección.
- En el área de estudio, la zona -1 presentó los mayores valores de riqueza y abundancia de especies, registrándose las 3 especies de reptiles; mientras que en la zona-2 se registró únicamente *Microlophus* sp. «lagartija». No se registraron especies en la zona-3.
- *Phyllodactylus gerrhopygus* «salamanqueja» y *Pseudalsophis elegans* «culebra de la costa» se encuentran incluidas en la categoría de Preocupación Menor por parte de la IUCN (2019). Cabe precisar que, de todas las especies registradas en la evaluación, *Microlophus* sp. «lagartija» se encuentra únicamente en territorio peruano, siendo el área de estudio parte de su probable rango de distribución.
- En el área de estudio la avifauna registrada fue típica de la zona interandina; se registraron mediante el método de búsquedas intensivas un total de 20 especies pertenecientes a 15 familias y 8 órdenes. Los órdenes que presentaron mayor número de especies fueron los Passeriformes con 9 especies, seguido de Apodiformes con 4 especies; mientras que las familias con mayor número de especies fueron Trochilidae, Tyrannidae, Hirundinidae, Rallidae y Apodidae, todas con 2 especies.



- La especie con mayor número de individuos fue *Aeronautes andecolus* «vencejo andino», con 96 individuos; seguido de *Streptoprocne zonaris* «vencejo de collar blanco», con 25 individuos. Todas las especies registradas son residentes.
- La formación vegetal que presentó la mayor riqueza, abundancia y diversidad de aves fue el monte ribereño con 19 especies y 162 individuos; mientras que la formación vegetal matorral desértico, fue la de menor riqueza y abundancia, con 7 especies y 44 individuos. La zona-1 registró la mayor riqueza y abundancia.
- Durante la evaluación se registraron 7 especies de interés para la conservación, de las cuales 1 especie es endémica de Perú, 1 está restringida al bioma Andes Centrales, y 1 especie registrada está dentro de alguna zona endémica de aves (EBA).
- Se ha registrado 2 especies dentro de alguna categoría de conservación de la IUCN (2019), estas especies son *Vultur gryphus* «cóndor andino» y *Xenospingus concolor* «fringilo apizarrado» categorizadas como Especies Vulnerables (VU), mientras que según el D.S.004-2014, se reportan 2 especies dentro de alguna categoría, *Vultur gryphus* «cóndor andino» categorizada como especie En Peligro (EN) y *Xenospingus concolor* «fringilo apizarrado» categorizada como especie Vulnerable (VU) y según CITES (2017), nos indica que se registraron 4 especies registradas en el apéndice II: *Geranoaetus melanoleucus*, *Patagona gigas*, *Rhodopis vesper* y *Falco sparverius* y se registró una especie dentro del apéndice I, *Vultur gryphus*.
- La avifauna registrada en el área de estudio indica que la laguna Mamacocha y las formaciones vegetales identificadas son ecosistemas conservados que albergan especies de aves endémicas como *Pseudasthenes cactorum*; especies polinizadoras como *Rhodopis vesper* y *Patagona gigas*; especies depredadoras como *Falco sparverius* y *Geranoaetus polyosoma*; y especies generalistas; cuyas poblaciones se mantienen en equilibrio.
- Se registró un total de 5 especies de mamíferos mayores con predominio del orden Carnivora con 3 especies, de estas se tienen como especies de particular importancia a *Lontra felina* «nutria o huallaque» y *Leopardus colocolo* «gato de pajonal».
- Se registró la especie introducida *Lepus europaeus* «liebre» que de acuerdo con su alta capacidad de dispersión es considerada como una especie invasiva. Este registro puede sumarse a la lista de puntos de interés para la descripción de su distribución en el Perú.
- El método de muestreo por recorridos permitió registrar las 2 especies esperadas según el análisis de la curva de acumulación para el área de estudio; además, con el método complementario de cámaras trampa se registró 2 especies adicionales y mediante registros fuera de los métodos aplicados se listó 1 especie más.
- La zona-1 y zona-3 presentaron los mayores registros de especies de mamíferos silvestres con 2 especies en cada zona por medio de recorridos; por ende, presentan la mayor diversidad.
- De las 5 especies registradas, 3 de ellas se encuentran por lo menos en una categoría de conservación nacional e internacional. Entre ellas tenemos a *Lontra felina* «nutria o huallaque» en categoría de En peligro (EN) y *Leopardus colocolo* «gato de pajonal» categorizada en estado de Casi Amenazada (NT) ambas para la IUCN (2019) y para la legislación nacional (Decreto Supremo N.º 004-2014-MINAGRI) como especie en situación de En peligro (EN) y con Datos insuficientes (DD) respectivamente. Finalmente, según el CITES (2017) *Leopardus colocolo* «gato de pajonal» y *Lycalopex*



culpaeus, «zorro» se encuentran listadas en el apéndice II y *Lontra felina* «nutria o huallaque» en el apéndice I.

El desarrollo completo del análisis de resultados y conclusiones se encuentra en el documento adjunto al presente informe.

4. RECOMENDACIONES

- Aprobar el informe de la evaluación ambiental temprana en el área de influencia del proyecto central hidroeléctrica Laguna Azul, ubicada en el distrito de Ayo, provincia de Castilla, departamento de Arequipa de la empresa central hidroeléctrica Mamacocha S.R.L., realizada durante el 2018 y 2019 en vista que cuenta con el sustento técnico requerido.
- Remitir a la Dirección de Supervisión Ambiental en Energía y Minas para los fines que se estimen convenientes.

Atentamente:

[MLEONA]

[LCHUQUISENGO]



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

SSIM: Subdirección de Sitios
Impactados

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

[ARUIZ]

Visto este informe la Dirección de Evaluación Ambiental ha dispuesto su aprobación.

Atentamente:

[FGARCIA]



"Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado por el OEFA, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. N° 026-2016-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través de la siguiente dirección web: <https://sistemas.oefa.gob.pe/verifica> e ingresando la siguiente clave: 08540316"



08540316



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

SSIM: Subdirección de Sitios
Impactados

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad



EVALUACIÓN AMBIENTAL TEMPRANA EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO CENTRAL HIDROELÉCTRICA LAGUNA AZUL DE LA EMPRESA CENTRAL HIDROELÉCTRICA MAMACOCHA S.R.L., DURANTE EL 2018 Y 2019

SUBDIRECCIÓN DE SITIOS IMPACTADOS

DIRECCIÓN DE EVALUACIÓN AMBIENTAL

2019



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

SSIM: Subdirección de Sitios
Impactados

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

Profesionales que aportaron a este documento:



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

SSIM: Subdirección de Sitios
Impactados

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

Profesionales que aportaron a este documento:



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	ANTECEDENTES	2
3.	OBJETIVOS	3
3.1.	Objetivo general	3
3.2.	Objetivos específicos	3
4.	ÁREA DE ESTUDIO	3
4.1.	Climatología	5
4.2.	Hidrología	5
4.3.	Hidrogeología	6
4.4.	Aspectos arqueológicos	7
4.5.	Aspectos biológicos	8
5.	CONTEXTO SOCIAL	9
6.	PARTICIPACIÓN CIUDADANA.....	11
6.1.	Etapa 1	11
6.2.	Etapas 2 al 5	11
7.	METODOLOGÍA.....	12
7.1.	Agua Superficial	12
7.1.1.	Guías utilizadas para la evaluación	12
7.1.2.	Ubicación de puntos.....	13
7.1.3.	Parámetros y métodos de análisis.....	13
7.1.4.	Equipos utilizados	15
7.1.5.	Aseguramiento de la calidad.....	15
7.1.6.	Criterios de comparación	15
7.2.	Sedimentos	16
7.2.1.	Guías utilizadas para la evaluación	16
7.2.2.	Ubicación de puntos.....	17
7.2.3.	Parámetros y métodos de análisis.....	17
7.2.4.	Equipos utilizados	17
7.2.5.	Aseguramiento de la calidad.....	17
7.2.6.	Criterios de evaluación.....	18
7.3.	Comunidades hidrobiológicas.....	18
7.3.1.	Guías utilizadas para la evaluación	19
7.3.2.	Ubicación de puntos.....	19
7.3.3.	Parámetros y métodos de análisis.....	20
7.3.4.	Equipos utilizados	20

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

7.3.5.	Aseguramiento de la calidad.....	21
7.3.6.	Procesamiento de datos	21
7.4.	Evaluación hidroquímica	26
7.4.1.	Ubicación de puntos.....	27
7.4.2.	Procesamiento de datos	27
7.5.	Caracterización geológica.....	36
7.5.1.	Guías utilizadas para la evaluación	36
7.5.2.	Ubicación de puntos.....	36
7.5.3.	Procesamiento de datos	37
7.6.	Flora silvestre	38
7.6.1.	Guías utilizadas para la evaluación	38
7.6.2.	Ubicación de puntos.....	39
7.6.3.	Parámetros y métodos de análisis.....	41
7.6.4.	Equipos utilizados	41
7.6.5.	Criterios de comparación	41
7.6.6.	Procesamiento de datos	42
7.7.	Fauna silvestre	45
7.7.1.	Guías utilizadas para la evaluación	46
7.7.2.	Ubicación de puntos.....	46
7.7.3.	Parámetros y métodos de análisis.....	52
7.7.4.	Equipos utilizados	54
7.7.5.	Criterios de comparación	55
7.7.6.	Procesamiento de datos	55
8.	RESULTADOS	59
8.1.	Comparación con las normas aprobadas en el IGA y vigente	61
8.1.1.	Agua superficial.....	61
8.2.	Comparación con norma referencial.....	63
8.2.1.	Sedimento	63
8.3.	Estudios especializados.....	64
8.3.1.	Comunidades hidrobiológicas.....	64
8.3.2.	Evaluación hidroquímica	83
8.3.3.	Caracterización geológica.....	99
8.3.4.	Flora	112
8.3.5.	Fauna	128
9.	DISCUSIÓN	155
9.1.	Agua, sedimento y comunidades hidrobiológicas	155
9.2.	Flora	175



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

9.3.	Fauna	179
9.3.1	Anfibios y reptiles	179
9.3.2	Aves.....	183
9.3.3	Mamíferos	190
10.	CONCLUSIONES.....	196
11.	ANEXOS	200
12.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	200

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 6.1.	Actores sociales involucrados en el desarrollo de la EAT en el área de influencia del proyecto Laguna Azul.....	11
Tabla 6.2.	Cronograma de la EAT en el área de influencia del proyecto Laguna Azul	12
Tabla 7.1.	Referencias para el muestreo de agua superficial.....	13
Tabla 7.2.	Ubicación de los puntos de muestreo	13
Tabla 7.3.	Parámetros evaluados y métodos de análisis de agua superficial durante el 2018 y 2019	14
Tabla 7.4.	Categoría de comparación para los cuerpos de agua en el área de influencia del proyecto Laguna Azul.....	15
Tabla 7.5.	Estándares de comparación para agua superficial	16
Tabla 7.6.	Referencias para el muestreo de sedimentos.....	16
Tabla 7.7.	Ubicación de los puntos de muestreo de sedimento durante el 2018	17
Tabla 7.8.	Parámetros evaluados y métodos de análisis de sedimento durante el 2018....	17
Tabla 7.9.	Valores estándares de comparación para metales en sedimento de agua continental	18
Tabla 7.10.	Guías utilizadas para la evaluación de comunidades hidrobiológicas.....	19
Tabla 7.11.	Ubicación de los puntos de muestreo para comunidades hidrobiológicas	19
Tabla 7.12.	Comunidades hidrobiológicas evaluados por puntos de muestreo	20
Tabla 7.13.	Parámetros evaluados y métodos de análisis de comunidades hidrobiológicas en el 2018 y 2019	20
Tabla 7.14.	Características y puntuaciones hidromorfológica según el protocolo CERA-S23	
Tabla 7.15.	Calidad hidromorfológica acuerdo a la puntuación del protocolo CERA-S	24
Tabla 7.16.	Calidad biológica de acuerdo con la puntuación del protocolo CERA-S	25
Tabla 7.17.	Calidad ecológica: recombinación entre la calidad hidromorfológica y biológica según el protocolo CERA-S	25
Tabla 7.18.	Calidad ecológica según el protocolo CERA-S.....	25
Tabla 7.19.	Puntajes de sensibilidad asignadas a las familias de macroinvertebrados bentónicos para la obtención del índice ABI.....	25
Tabla 7.20.	Estado de la calidad ecológica del agua según el ABI en Perú.....	26
Tabla 7.21.	Valores aceptables de error en función a la conductividad eléctrica	29
Tabla 7.22.	Referencias para la caracterización geológica.....	36
Tabla 7.23.	Puntos de muestreo de geología.....	37
Tabla 7.24.	Guías de muestreo para evaluar de la flora y vegetación.....	39
Tabla 7.25.	Ubicación transectos de muestreo de flora silvestre	40
Tabla 7.26.	Parámetros evaluados	41
Tabla 7.27.	Cálculos estadísticos realizados.....	42



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

Tabla 7.28. Guías de muestreo para la evaluación de fauna silvestre46
Tabla 7.29. Ubicación de las búsquedas por encuentro visual (VES) para la evaluación de los anfibios y reptiles47
Tabla 7.30. Ubicación de las búsquedas intensivas para la evaluación de las aves48
Tabla 7.31. Ubicación de transectos lineales para la evaluación de mamíferos50
Tabla 7.32. Ubicación de cámaras trampa51
Tabla 7.33. Parámetros y cantidad de zonas de evaluación considerados para el estudio54
Tabla 7.34. Puntaje para diferentes tipos de evidencias utilizado para calcular el índice de ocurrencia57
Tabla 8.1. Resultados de calidad de agua superficial que excedieron los ECA para Agua61
Tabla 8.2. Resultados de calidad de sedimento.....63
Tabla 8.3.Especies que solo fueron reportadas para cada laguna evaluada65
Tabla 8.4.Diversidad alfa del fitoplancton por punto de muestreo en las evaluaciones de 2018 y 201967
Tabla 8.5. Composición, riqueza y abundancia del zooplancton, en las evaluaciones de 2018 y 201968
Tabla 8.6. Diversidad alfa del perifiton vegetal por punto de muestreo en las evaluaciones de 2018 y 201972
Tabla 8.7. Diversidad alfa del perifiton vegetal por punto de muestreo en las evaluaciones de 2018 y 201974
Tabla 8.8. Diversidad alfa del macrobentos por punto de muestreo en las evaluaciones de 2018 y 201980
Tabla 8.9. Calidad ecológica de acuerdo con el protocolo CERA-S82
Tabla 8.10. Concentración de metales en tejido muscular de peces de la evaluación 201983
Tabla 8.11. Características de los miembros del Grupo Andahua 108
Tabla 8.12. Número de familias, géneros y especies por cada clase registrada en el área de estudio 112
Tabla 8.13. Número de familias, géneros y especies por cada clase registrada en el área de estudio 116
Tabla 8.14. Cobertura vegetal por transecto, formación vegetal, y zonas, presente en el área de estudio 122
Tabla 8.15. Índices de diversidad alfa obtenido en los transectos de las zonas evaluadas 122
Tabla 8.16. Índices de diversidad alfa obtenido en los transectos de las zonas evaluadas 124
Tabla 8.17. Índices de diversidad alfa obtenido en los transectos de las zonas evaluadas 126
Tabla 8.18. Especies categorizadas según la legislación nacional e internacional, presentes en el área de estudio 127
Tabla 8.19. Orden, familia y especies de reptiles registrados en el área de estudio 128
Tabla 8.20. Abundancia, riqueza e índices de diversidad de los anfibios y reptiles por zonas de evaluación 132
Tabla 8.21. Lista de especies de reptiles incluidos en categorías de conservación o endémicos registradas en el área de estudio. 134
Tabla 8.22. Orden, familia y especies de aves registradas en el área del proyecto Laguna Azul 134
Tabla 8.23. Familia y número de especies registradas en el área de estudio..... 135
Tabla 8.24. Riqueza y abundancia de especies registradas en la zona-1..... 138



Tabla 8.25. Riqueza y abundancia de especies registradas en la formación matorral desértico de la zona-1	138
Tabla 8.26. Riqueza y abundancia de especies registradas en la formación monte ribereño de la zona-1	139
Tabla 8.27. Riqueza y abundancia de especies registradas en la zona-2.....	140
Tabla 8.28. Riqueza y abundancia de especies registradas en la formación matorral desértico de la zona-2	140
Tabla 8.29. Riqueza y abundancia de especies registradas en la formación monte ribereño de la zona-2.....	141
Tabla 8.30. Riqueza y abundancia de especies registradas en la formación monte ribereño de la zona-3.....	141
Tabla 8.31. Riqueza, abundancia e índices de diversidad por zonas en el área de estudio	142
Tabla 8.32. Valores de índice de similitud de Morisita entre las zonas evaluadas en el área de estudio	143
Tabla 8.33. Lista de especies incluidas en categorías de conservación y endémicas registradas	147
Tabla 8.34. Uso de las aves por la población local	147
Tabla 8.35. Composición de mamíferos silvestres en el área de estudio.....	147
Tabla 8.36. Unidades y esfuerzo de muestreo por zona en el área de estudio.	148
Tabla 8.37. Esfuerzo de muestreo de cámaras trampa para la evaluación de mamíferos silvestres en el área de estudio.....	148
Tabla 8.38. Índice de ocurrencia (IO) e índice de abundancia de mamíferos en el área de estudio	149
Tabla 8.39. Valores del índice de similaridad de Jaccard entre las zonas en el área de estudio	149
Tabla 8.40. Registros independientes de mamíferos silvestres por cámaras trampa	151
Tabla 8.41. Registros oportunos o casuales	153
Tabla 8.42. Especies en estado de conservación.....	154

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4.1. Área de estudio del proyecto Laguna Azul	4
Figura 4.2. Esquema de distribución de los principales cuerpos de agua en la subcuenca Mamacocha	5
Figura 4.3. Hidrograma de precipitación y caudal promedio multianual en el río Mamacocha	6
Figura 4.4. Modelo hidrogeológico de la resurgencia Mamacocha	7
Figura 4.5. Pintura rupestre ubicada al oeste de la laguna Mamacocha	8
Figura 4.6. Laguna Mamacocha y su habitante <i>Lontra felina</i> «nutria o huallaque»	9
Figura 7.1. Relación de los sólidos disueltos totales (TDS) con los valores de k para diferentes tipos de agua	28
Figura 7.2. Error de omitir H_3O^+ en el balance iónico	30
Figura 7.3. Diagrama de Stiff.....	31
Figura 7.4. Diagrama de Piper	32
Figura 7.5. Diagrama de Gibss	33
Figura 7.6. Diagrama de Schoeller-Barkalof	34
Figura 7.7. Diagrama de Scatter	35
Figura 7.8. Diagrama de Korjinski	35



Figura 8.1. Esquema del límite de la zona I para evaluación de agua, sedimento y comunidades hidrobiológicas	60
Figura 8.2. Distribución de zonas para evaluación de flora y fauna silvestre.....	60
Figura 8.3.. Concentración de boro total comparada con los ECA para Agua (2017) categoría 3: D1 y D2.....	62
Figura 8.4. Concentración de manganeso total comparada con los ECA para Agua (2017) categoría 3: D1 y D2, además de la Categoría 1: A2.	62
Figura 8.5. Riqueza de taxones por Phylum del fitoplancton en las evaluaciones de 2018 y 2019.....	64
Figura 8.6. Comparación de la riqueza de taxones de fitoplancton por punto de muestreo y phylum, en las evaluaciones de 2018 y 2019	65
Figura 8.7. Comparación de la abundancia de fitoplancton por punto de muestreo y phylum, en las evaluaciones de 2018 y 2019.....	67
Figura 8.8. Comparación de la abundancia de fitoplancton por punto de muestreo y phylum, en las evaluaciones de 2018 y 2019.....	68
Figura 8.9. Riqueza de taxones por Phylum del perifiton vegetal en las evaluaciones de 2018 y 2019	70
Figura 8.10. Comparación de la riqueza de taxones de perifiton vegetal por punto de muestreo y phylum en las evaluaciones de 2018 y 2019.....	71
Figura 8.11. Comparación de la abundancia de taxones de perifiton vegetal por punto de muestreo y phylum, en las evaluaciones de 2018 y 2019.....	71
Figura 8.12. Dendograma de similaridad de Bray Curtis de perifiton vegetal, en las evaluaciones de 2018 y 2019.....	73
Figura 8.13. Riqueza de taxones por órdenes de macrobentos en las evaluaciones de 2018 y 2019	75
Figura 8.14. Comparación de la riqueza de taxones de macrobentos por punto de muestreo y orden, en las evaluaciones de 2018 y 2019.....	76
Figura 8.15. Comparación de la riqueza de taxones de macrobentos por punto de muestreo y orden en lagunas, en las evaluaciones de 2018 y 2019.....	76
Figura 8.16. Comparación de la riqueza de taxones de macrobentos por punto de muestreo y orden en ríos y quebradas, en las evaluaciones de 2018 y 2019	77
Figura 8.17. Comparación de la abundancia de macrobentos por punto de muestreo y orden en ríos y quebradas, en las evaluaciones de 2018 y 2019.....	78
Figura 8.18. Comparación de la abundancia de macrobentos por punto de muestreo y orden en lagunas, en las evaluaciones de 2018 y 2019	79
Figura 8.19. Comparación de la abundancia de macrobentos por punto de muestreo en ríos y quebradas, en las evaluaciones de 2018 y 2019.....	79
Figura 8.20. Dendograma de similaridad de Bray Curtis de macrobentos, en las evaluaciones de 2018 y 2019.....	81
Figura 8.21. Relación lineal entre la conductividad y los sólidos disueltos totales (SDT) de los puntos de muestreo evaluados en octubre de 2018 y mayo de 2019.....	84
Figura 8.22. Relación lineal entre la conductividad y la suma de cationes de los puntos de muestreo evaluados en octubre de 2018 y mayo de 2019.....	85
Figura 8.23. Relación lineal entre los sólidos disueltos totales (SDT) calculado y medido de los puntos de muestreo evaluados en octubre de 2018 y mayo de 2019.....	87
Figura 8.24. Curva potencial obtenida de la relación de conductividad y EBI establecida por Custodio y Llamas, 1976.....	88
Figura 8.25. Curva potencial obtenida de la relación de conductividad y EBI establecida por Custodio y Llamas, 1976.....	88



Figura 8.26. Diagrama de Stiff de los puntos de muestreo evaluados en octubre 2018 y mayo 2019.....	91
Figura 8.27. Diferencia temporal del diagrama de Stiff de los puntos de muestreo evaluados en octubre 2018 y mayo 2019.....	92
Figura 8.28. Diagrama de Piper	94
Figura 8.29. Diagrama de Gibbs (Na+K/Na+K+Ca vs SDT) de los puntos de muestreo evaluados en octubre de 2018 y mayo de 2019.....	95
Figura 8.30. Diagrama de Gibbs (Cl/Cl+HCO ₃ vs SDT) de los puntos de muestreo evaluados en octubre de 2018 y mayo de 2019.....	96
Figura 8.31. Diagrama de Scatter	97
Figura 8.32. Diagrama Korjinski a) Log H ₄ SiO ₄ vs Log Na ⁺ /H ⁺ y b) H ₄ SiO ₄ vs Log K ⁺ /H ⁺ de los puntos de muestreo evaluados en octubre de 2018 y mayo de 2019.....	98
Figura 8.33. Columna estratigráfica de las unidades geológicas en la microcuenca del río Mamacochoa	100
Figura 8.34. Afloramientos de la Formación Puente, en a) río Colca; b) río Mamacochoa, c) Canal de riego del centro poblado de Ayo y d) borde este de la laguna de Chachas.	102
Figura 8.35. Afloramientos sedimentarios deformados de la Formación Puente en el cerro Canco	103
Figura 8.36. Sección geológica E-O desde el centro poblado Silco hasta el cerro Canco	103
Figura 8.37. Sección geológica desde el cerro Huillapuquio hasta la laguna Pumajallo.	105
Figura 8.38. Sección geológica en el tramo del cerro Calvario hasta el cerro Jalhua	106
Figura 8.39. Depósitos aluviales, en a) borde oeste de la laguna Mamacochoa y b) margen derecha del río Mamacochoa, cerca de la confluencia con el río Colca	107
Figura 8.40. Afloramientos de las rocas volcánicas Holocenas del Grupo Andahua alrededor de la laguna Mamacochoa	109
Figura 8.41. Afloramientos de las rocas volcánicas Holocenas del Grupo Andahua en la margen derecha del río Mamacochoa	109
Figura 8.42. Depósitos fluviales recientes en el cauce del río Mamacochoa.....	110
Figura 8.43. Contexto estructural del distrito de Ayo	111
Figura 8.44. Porcentaje de especies por clase registrado en el área de estudio.....	112
Figura 8.45. Familias más diversas, indicando número de géneros y especies, registradas en el área de estudio.....	113
Figura 8.46. Familias con mayor porcentaje de especies, por encima del 2 % de especies registradas en el área de estudio.....	113
Figura 8.47. Familias con mayor porcentaje de especies, por encima del 2 % de especies registradas en el área de estudio.....	114
Figura 8.48. Familias con mayor porcentaje de especies, por encima del 2 % de especies registradas en el área de estudio.....	114
Figura 8.49. Número de especies, géneros y familias presentes en las dos formaciones vegetales presentes en el área de estudio	115
Figura 8.50. Curva de acumulación de especies presentes en las 3 zonas del área de evaluación.....	116
Figura 8.51. Composición florística y sus formaciones vegetales de las 3 zonas en el área de evaluación	117
Figura 8.52. Abundancia relativa de las especies presentes en las dos formaciones vegetales de la zona-1	118
Figura 8.53. Abundancia relativa de las especies presentes en las dos formaciones vegetales de la zona-2	119



Figura 8.54. Abundancia relativa de las especies presentes en las dos formaciones vegetales de la zona-3	120
Figura 8.55. Abundancia relativa de las especies de flora silvestre por transectos evaluados y presentes en las dos formaciones vegetales registradas en el área de estudio	121
Figura 8.56. Índices de diversidad alfa de los transectos en las formaciones vegetales de monte ribereño	123
Figura 8.57. Índices de diversidad alfa de los transectos en las formaciones vegetales de matorral desértico.....	124
Figura 8.58. Índices de diversidad alfa en las zonas evaluadas	125
Figura 8.59. Análisis de Clúster de las zonas evaluadas en el área de estudio	125
Figura 8.60. Análisis de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS) y cluster con los transectos evaluados en el área de estudio	126
Figura 8.61. Abundancia relativa de los reptiles registrados en el área de influencia del proyecto Laguna Azul.....	129
Figura 8.62. Curva de acumulación de especies de reptiles en el área de estudio	130
Figura 8.63. Riqueza y abundancia de reptiles por zonas evaluadas	131
Figura 8.64. Similaridad de Morisita entre las diferentes zonas evaluadas	133
Figura 8.65. Familias con la mayor riqueza de especies registradas en el área de influencia del proyecto Laguna Azul.....	136
Figura 8.66. Curva de acumulación de especies presentes en el área de influencia del proyecto Laguna Azul.....	137
Figura 8.67. Índices de diversidad por zonas evaluadas.....	142
Figura 8.68. Dendrograma de similitud de Morisita entre las zonas evaluadas	144
Figura 8.69. Análisis de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS)	145
Figura 8.70. Análisis de abundancias por búsqueda intensiva.....	146
Figura 8.71. Cluster de similaridad de especies compartidas entre las zonas evaluadas	150
Figura 8.72. Composición taxonómica de registros de mamíferos silvestres por cámaras trampa.....	150
Figura 8.73. Composición de especies por zona de evaluación en el área de estudio ...	152
Figura 8.74. Curva de acumulación de especies de mamíferos silvestre en el área de estudio	152
Figura 8.75. Curva de acumulación de especies de mamíferos silvestre en el área de estudio	153
Figura 9.1. Distribución de puntos de muestreo evaluados de agua, sedimento y comunidades hidrobiológicas	155
Figura 9.2. Hidrograma de precipitaciones medias mensuales (1965-2013) en estaciones cercanas al área circundante a la laguna Mamacocha comparado con las descargas medias mensuales (1965-2011) en la laguna Mamacocha.....	156
Figura 9.3. Sección geológica longitudinal desde el río Andahua hasta el río Colca.....	157
Figura 9.4. Anomalías espectrales de óxidos de hierro y arcillas a partir de imágenes Lansat-7 y Lansat-8 en el anexo Subna	158
Figura 9.5. Modelo conceptual de la laguna y río Chachas, y quebrada Subna	160
Figura 9.6. Áreas de terrenos agrícolas alrededor de la laguna Chachas	161
Figura 9.7. Áreas de terrenos agrícolas en las márgenes de a) quebrada Subna y b) río Colca.....	161
Figura 9.8. Áreas de terrenos agrícolas alrededor del canal de riego Ayo	162
Figura 9.9. Afloramientos sedimentarios deformados que dan las condiciones para la resurgencia Mamacocha	162
Figura 9.10. Modelo conceptual de la laguna Mamacocha	164
Figura 9.11. Hidroquímica de la laguna Mamacocha octubre de 2018	165



Figura 9.12. Hidroquímica de la laguna Mamacocha mayo de 2019	165
Figura 9.13. Diferentes relieves del fondo de la laguna Mamacocha.....	168
Figura 9.14. Diferencia hidroquímica de la descarga de la laguna y río Mamacocha.....	169
Figura 9.15. Formación vegetal ribereña del río Mamacocha	170
Figura 9.16. Confluencia del río Mamacocha con el río Colca en su margen derecha....	171
Figura 9.17. Concentración mensual de boro total en los ríos Colca y Mamacocha	172
Figura 9.18. Caracterización hidroquímica de los ríos Mamacocha y Colca en octubre de 2018.....	174
Figura 9.19. Caracterización hidroquímica de los ríos Mamacocha y Colca en mayo de 2019	174
Figura 9.20. a) Ecosistema frágil - laguna Mamacocha, y formaciones vegetales identificadas en el área de estudio: b) matorral desértico y c) monte ribereño.....	176
Figura 9.21. Especies en categorías de conservación a) <i>Browningia candelaris</i> , b) <i>Weberbauerocereus rauhii</i> c) <i>Cumolopuntia sphaerica</i>	178
Figura 9.22. Especies con mayor abundancia relativa en la zona-3; a) <i>Ricinus comunis</i> , b) <i>Acacia macrantha</i> «Casi Amenazadas (NT) según el Decreto Supremo N.º 043-2006-AG», c) <i>Schinus molle</i> y d) <i>Arundo donax</i>	179
Figura 9.23. Zonas evaluadas en el área de influencia del proyecto Laguna Azul: a) laguna Mamacocha, b) río Mamacocha, c y d) hábitats asociados de matorral desértico con su vegetación característica, e) Zona de encuentro de los ríos Mamacocha y Colca, f) Vista panorámica de la zona de evaluación 3, al final del río Mamacocha	180
Figura 9.24. Especies de reptiles registrados en el área de estudio.	182
Figura 9.25. Vista panorámica del hábitat a) matorral desértico y b) monte ribereño.....	184
Figura 9.26. Registro de la especie <i>Aeronautes andecolus</i> «vencejo andino».....	185
Figura 9.27. Registro de la especie <i>Xenospingus concolor</i> «fringilo apizarrado».....	186
Figura 9.28. Vista panorámica del hábitat matorral desértico de la zona-1	187
Figura 9.29. Especies registradas en el hábitat monte ribereño de la zona-2 a) vista panorámica del hábitat monte ribereño, b) <i>Gallinula galeata</i> «polla de agua común», c) <i>Rhodopis vesper</i> «colibrí del oasis», d) <i>Patagona gigas</i> «colibrí gigante»	188
Figura 9.30. Especies registradas en hábitat matorral desértico de la zona-2 a) vista panorámica del matorral desértico, b) <i>Zenaida auriculata</i> «tórtola orejuda»	188
Figura 9.31. Especies registradas en el hábitat monte ribereño de la zona-2	189
Figura 9.32. Especies registradas en el hábitat monte ribereño de la zona-2	189
Figura 9.33. Especies identificadas a) Huella de <i>Lycalopex culpaeus</i> «zorro», b) <i>Lycalopex culpaeus</i> «zorro», c) <i>Leopardus colocolo</i> «gato de pajonal», d) <i>Lagidium viscacia</i> «vizcacha», y e) Huella de <i>Lontra felina</i> «nutria o huallaque»	192
Figura 9.34. Vista panorámica de la Laguna Mamacocha, zona-1	193
Figura 9.35. Vista panorámica de la zona-2	193
Figura 9.36. Vista panorámica de la Zona-3.	194
Figura 9.37. Cueva de <i>Lontra felina</i> «nutria o huallaque» en el río Colca cercano a la confluencia con el río Mamacocha.....	195



1. INTRODUCCIÓN

El presente informe corresponde a la evaluación ambiental temprana (en adelante, EAT) realizada durante el 2018 y 2019, en el área de influencia del proyecto central hidroeléctrica Laguna Azul (en adelante, proyecto Laguna Azul) y contiene los resultados, análisis y conclusiones de los estudios realizados por la Subdirección de Sitios Impactados de la Dirección de Evaluación Ambiental del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), en el desarrollo del Plan Anual de Evaluación y Fiscalización Ambiental, correspondiente al 2019 (Planefa 2019).

El proyecto Laguna Azul, a cargo de la empresa Central Hidroeléctrica Mamacocha S.R.L. (en adelante, CH Mamacocha) se encuentra ubicado geopolíticamente en el distrito de Ayo, provincia de Castilla, departamento de Arequipa a una altitud aproximada entre los 1350 y 3816 m s. n. m.

Hidrográficamente, el área del proyecto Laguna Azul se encuentra ubicado en la cuenca media y baja del río Mamacocha. El río es denominado Mamacocha aguas abajo de la descarga de la laguna Mamacocha hasta su confluencia con el río Colca, el mismo que pertenece a la red hidrográfica que drena sus aguas a la vertiente del Pacífico.

El proyecto Laguna Azul consiste en una central hidroeléctrica no regulada, también llamada «de pasada», la cual aprovechará el agua del rebose de la laguna Mamacocha para generar energía eléctrica, con una potencia instalada de 20 MW (megawatts), esta energía producida será dada al Estado Peruano, a través del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN)¹.

En el 2018, el Ministerio del Ambiente (Minam) solicitó al OEFA representar al sector en una visita al distrito de Ayo y anunciar el inicio de una EAT en el área de influencia del proyecto Laguna Azul en atención a las denuncias relacionadas con la implementación del proyecto.

El OEFA en cumplimiento a su función evaluadora² inició la EAT en el 2018, la que comprendió acciones de monitoreo, que involucró la participación ciudadana para contribuir con la prevención de conflictos y la generación de confianza en cada uno de los actores sociales involucrados. Los resultados de las acciones de evaluación desarrolladas el 2018 fueron presentados en el Informe N.º 366-2018-OEFA/DEAM-STEC; en el año 2019 se realizó un segundo monitoreo, ejecutado del 29 de abril al 8 de mayo.

En tal sentido, el Planefa 2019, establece realizar estudios especializados con participación ciudadana esperando identificar medidas de control de posibles y futuros impactos ambientales por medio de diagnósticos ambientales que contengan un análisis integral del estado de los diversos componentes ambientales; en ese sentido, la EAT se ejecuta antes del inicio de construcción del proyecto Laguna Azul, considerando las etapas del «Reglamento de participación ciudadana en las acciones de monitoreo ambiental a cargo del OEFA³».

¹ Declaración de Impacto Ambiental del Proyecto Central Hidroeléctrica Laguna Azul aprobado mediante Resolución Sub Gerencial Regional N.º 110-2014-GRA/ARMA-SG.

² El artículo 11º de la Ley N.º 29325, Ley del Sistema Nacional de Evaluación y Fiscalización Ambiental – Sinefa, indica que la función evaluadora del OEFA comprende las acciones de vigilancia, monitoreo y otras similares realizadas para asegurar el cumplimiento de las normas ambientales.

³ Aprobado por Resolución de Consejo Directivo N.º 032-2014-OEFA/CD y modificado por la Resolución de Consejo Directivo N.º 003-2016-OEFA/CD.



La información contenida en este informe constituirá un soporte técnico para futuras acciones de fiscalización y supervisión ambiental a cargo del OEFA.

2. ANTECEDENTES

Para conocer la calidad ambiental relacionada al área de influencia del proyecto Laguna Azul se realizó una recopilación, revisión, análisis y síntesis de la información ambiental existente en el área de influencia del mencionado proyecto. A continuación, se describe de manera resumida la principal información analizada referente a los Instrumentos de gestión ambiental (en adelante, IGA):

El proyecto Laguna Azul realizará actividades de generación de energía eléctrica aprovechando el rebose de las aguas de la laguna Mamacocha. Actualmente, el proyecto se encuentra en la etapa de planificación, por lo que aún no existe ningún tipo de actividad en la zona.

La empresa Central Hidroeléctrica Laguna Azul S.R.L (en adelante, el administrado), con la finalidad de ejecutar el proyecto de Laguna Azul, presentó la Evaluación Preliminar del Proyecto «Central Hidroeléctrica Laguna Azul» a la Autoridad Regional Ambiental de Arequipa (en adelante, ARMA) mediante el Registro N.º 1550-2013-ARMA del 04 de julio de 2013.

La ARMA, mediante el Auto N.º 280-2013-GRA/ARMA (Informe 056-2013-GRA/ARMA-SG-EA-E) de fecha 03 de octubre de 2013, dispuso clasificar al proyecto en la Categoría III – Estudio de Impacto Ambiental y requirió presentar los Términos de Referencia (TdR) y Plan de Participación Ciudadana (PPC).

El administrado presentó un recurso de reconsideración al Auto N.º 280-2013-GRA/ARMA-SG-EA, el cual fue declarado fundado por la ARMA mediante Resolución Sub Gerencial Regional N.º 124-2013-GRA/ARMA-SG y mediante Oficio N.º 139-2014-GRA/ARMA/SG, solicita al administrado presentar una Declaración de Impacto Ambiental (DIA), este instrumento de gestión ambiental fue presentado el 05 de marzo de 2014 y fue aprobado a través de la Resolución Sub Gerencial Regional N.º 110-2014-GRA/ARMA-SG del 03 de setiembre del 2014.

Posteriormente, han sido aprobados otros instrumentos de gestión ambiental relacionados a los diferentes componentes del proyecto. El último IGA aprobado fue el Informe Técnico Sustentatorio (ITS) para la Modificación de componentes del Proyecto «Central Hidroeléctrica Laguna Azul» mediante Resolución Sub Gerencial Regional N.º 163-2017-GRA/ARMA-SGCA, el 29 de diciembre de 2017.

La Dirección de Evaluación Ambiental del OEFA, (en adelante, DEAM) inició las acciones correspondientes a la EAT en el área de influencia del proyecto Laguna Azul en el año 2018. La EAT se desarrolló considerando las etapas establecidas en el Reglamento de participación ciudadana del OEFA. Es así que la coordinación previa con autoridades y población interesada del distrito de Ayo, provincia de Castilla, departamento de Arequipa se realizó el 24 de julio de 2018.

Asimismo, a fin de recabar información técnica para el desarrollo del estudio, del 16 al 21 de setiembre de 2018, se realizó la visita de reconocimiento ambiental cuya información recabada fue presentada por medio del Informe N.º 325-2018-OEFA/DEAM-STEC. Durante las mismas fechas se desarrollaron las etapas de convocatoria, inscripción en los programas



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

de inducción, realización de la inducción y taller para la presentación de la propuesta del plan de monitoreo señaladas en el citado reglamento de participación ciudadana del OEFA.

La ejecución del primer monitoreo de agua, sedimento y comunidades hidrobiológicas continentales fue realizado del 16 al 24 de octubre del 2018, los resultados fueron reportados en el Informe N.º 366-2018-OEFA/DEAM-STEC.

Finalmente, del 29 de abril al 8 de mayo de 2019 se realizó el segundo monitoreo y cuyos resultados se presentan en este informe.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Realizar la EAT en el área de influencia⁴ y zonas aledañas del proyecto central hidroeléctrica Laguna Azul en el distrito de Ayo, provincia de Castilla, departamento de Arequipa, durante el 2018 y 2019.

3.2. Objetivos específicos

- Evaluar la calidad del agua superficial, sedimento y comunidades hidrobiológicas en la cuenca del río Mamacocha; desde la descarga de la laguna Chachas hasta la confluencia con el río Colca.
- Realizar la caracterización hidroquímica de los cuerpos de agua en la cuenca del río Mamacocha, desde la descarga de la laguna Chachas hasta la confluencia con el río Colca.
- Evaluar el contexto geológico en el área de influencia y zonas aledañas del proyecto Laguna Azul.
- Evaluar la flora silvestre en el ecosistema frágil de la laguna Mamacocha y río Mamacocha con sus formaciones vegetales asociadas.
- Evaluar la fauna silvestre (anfibios, reptiles, aves y mamíferos) en el ecosistema frágil de la laguna Mamacocha y río Mamacocha con sus hábitats asociados.

4. ÁREA DE ESTUDIO

El proyecto Laguna Azul, se encuentra ubicado en el distrito de Ayo, provincia de Castilla, departamento de Arequipa, a una altitud aproximada entre los 1350 y 3816 m s. n. m. (Figura 4.1), siendo este distrito el área de influencia indirecta del proyecto⁵.

⁴ Área de influencia ambiental directa e indirecta.



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

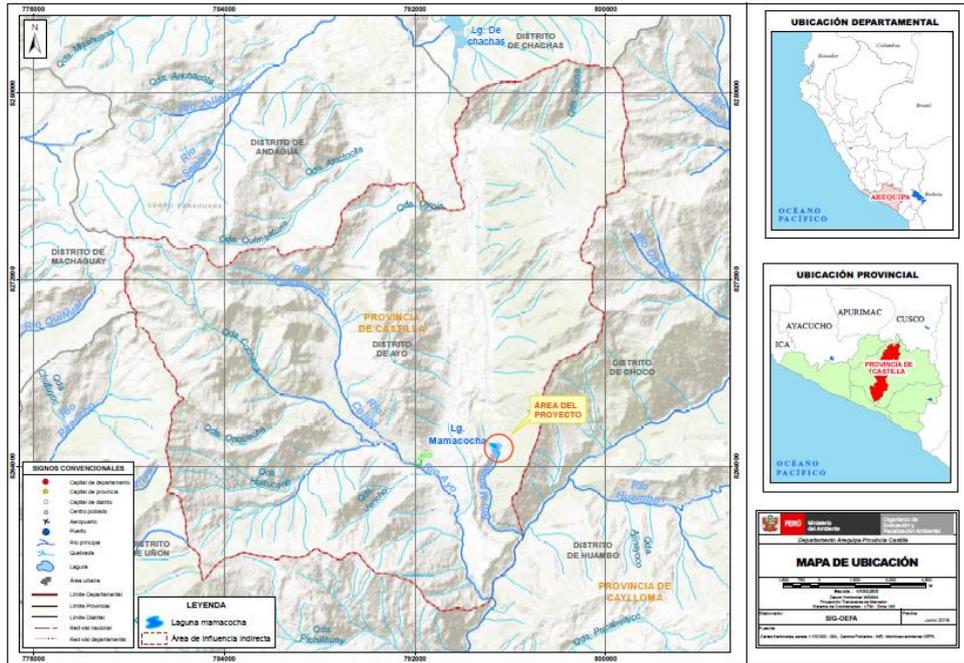


Figura 4.1. Área de estudio del proyecto Laguna Azul

Hidrográficamente, este proyecto se encuentra ubicado en la cuenca media y baja del río Mamacocha, zona en la cual se ubica la proyectada captación del proyecto Laguna Azul. El río es denominado Mamacocha aguas abajo de la descarga de la laguna hasta su confluencia con el río Colca, el mismo que pertenece a la red hidrográfica que drena sus aguas a la vertiente del Pacífico.

En la parte alta de la cuenca del río Mamacocha se encuentra ubicado los ríos Chilcamarca y Orcopampa, los que forman el río Andagua, el mismo que desemboca en la laguna Pumajallo, esta laguna desagua y forma el río Challahuire el mismo que desemboca en la laguna Chachas.

El principal aporte de la laguna Mamacocha proviene de la descarga de la laguna Chachas, cuyas aguas se pierden por infiltración y tras un recorrido aproximado de 15 km afloran en la laguna Mamacocha; así mismo, recibe el aporte de la quebrada Subna cuyas aguas también se pierden por infiltración a aproximadamente 10 km aguas arriba de la laguna Mamacocha⁵. En la Figura 4.2 se presenta el esquema de la distribución de los principales cuerpos de agua de la microcuenca del río Mamacocha.

⁵ Informe Técnico Sustentatorio (ITS) para la Modificación de componentes del Proyecto «Central Hidroeléctrica Laguna Azul»

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

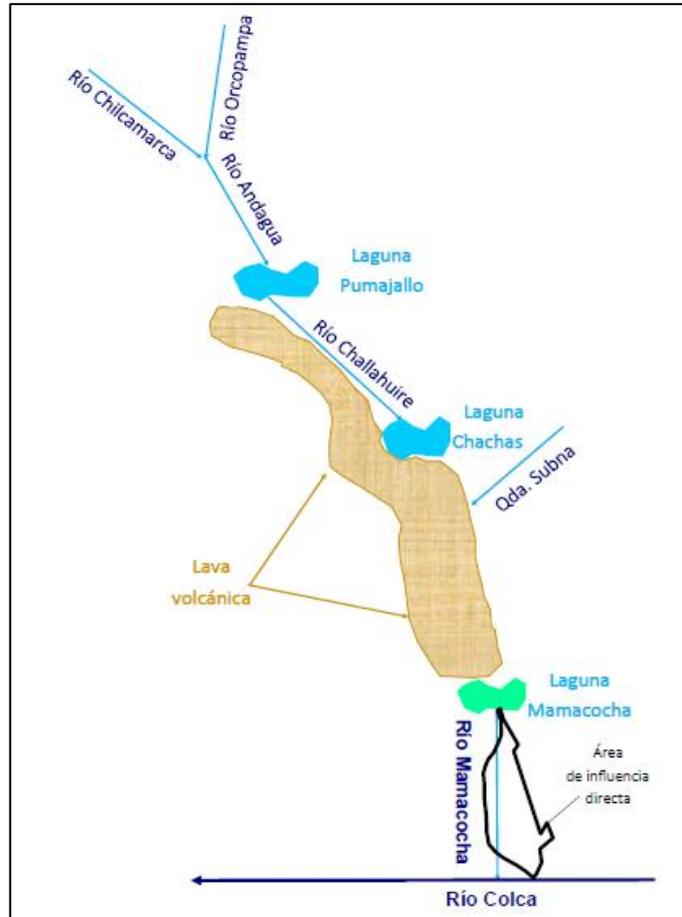


Figura 4.2. Esquema de distribución de los principales cuerpos de agua en la subcuenca Mamacocha

4.1. Climatología

El tipo de clima identificado en el área de influencia del proyecto Laguna Azul fue determinado en base al mapa de clasificación climática del Perú, elaborado por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (Senamhi)⁶. La zona comprendida en la parte alta de la cuenca del río Mamacocha se caracteriza por tener un clima lluvioso (otoño seco, invierno seco) y semirrígido húmedo; la zona entre la laguna Chachas, hasta antes de la laguna Mamacocha, se caracteriza por tener un clima árido (deficiencia de lluvia) y semicálido húmedo; y la zona comprendida entre la laguna Mamacocha y río Mamacocha, hasta antes de la confluencia con el río Colca, se caracteriza por tener un clima semiárido (otoño seco, invierno seco, primavera seca) y templado seco.

4.2. Hidrología

La cuenca del río Mamacocha tiene forma alargada y tiene un área aproximada de 2645 km². Los caudales de la descarga del río Mamacocha y el régimen del río Mamacocha se diferencian notablemente del régimen de precipitaciones en la cuenca, esta tendencia se observa en la Figura 4.3.

⁶ La información climática de esta clasificación está sustentada en información meteorológica de aproximadamente veinte años (1965 - 1984), con la cual se procedió a formular los "Índices Climáticos" y el trazado de las zonas de acuerdo a la clasificación de climas de Werren Thornthwaite.

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

Se observa que el régimen de avenida está desfasado entre 2 y 4 meses con respecto al inicio de las precipitaciones en el mes de diciembre. Los caudales mayores se presentan en el mes de abril mientras que las mayores precipitaciones se producen en el mes de febrero. Por otro lado, el periodo de avenida es entre abril y julio, correspondiente al periodo seco de las precipitaciones. El caudal medio de la cuenca del río Mamacocha es de 9,8 m³/s.

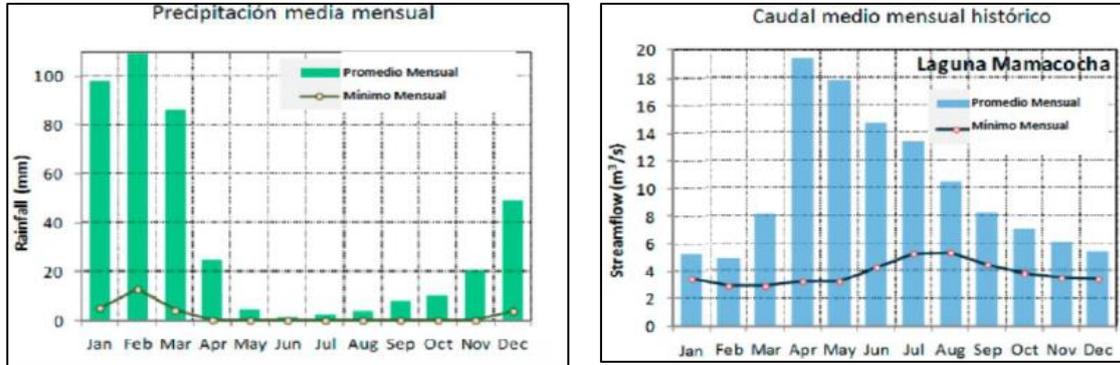


Figura 4.3. Hidrograma de precipitación y caudal promedio multianual en el río Mamacocha
Fuente: ITS (2017)⁷

4.3. Hidrogeología

El distrito de Ayo (área de influencia indirecta del proyecto Laguna Azul) forma parte del denominado Valle de los Volcanes que comprende la parte alta la provincia de Castilla entre los distritos de Orcopampa, Andahua y Ayo.

Según la carta geológica de Huambo y Orcopampa (Caldas, 1993), las rocas más antiguas corresponden a sedimentos marinos formados hace unos 150 M.A. (Millones de años), Grupo Yura, capas rojas continentales de la Formación Murco, calizas marinas de la Formación Arcurquina (100 a 145 M.A.) que evidencian episodios de transgresión y regresión marina. Procesos de tectogénesis a fines del Cretáceo (hace 65 a 70 M.A.) desarrollaron fajas de deformación en las rocas, mostrando plegamientos y fallas geológicas. Estas características tectónicas y la predominancia litológica de areniscas y calizas nos permiten interpretar que estas rocas son permeables y que favorecen al almacenamiento de aguas subterráneas, sin descartar las lutitas y algunos niveles de calizas como materiales impermeables.

Después de una fase de erosión y desarrollo de relieve, fases de intensa actividad magmática, una durante el Mioceno (Hace 5 a 23 M.A.) que originó un intenso magmatismo efusivo (Formación Orcopampa), asociado a intrusivos hipabisales y vinculados a soluciones mineralizantes, se produjo una nueva fase de vulcanismo tipo fisural y naturaleza piroclástica en el Plioceno medio-superior, denominándolo Formación Sencca (2,6 a 5,3 M.A.) originado estrato de volcanes ubicados en las alineaciones de fallas principales (Grupo Barroso). Las lavas andesíticas originadas son materiales permeables y constituyen buenos acuíferos, sin embargo, se tiene claro que existe una gran variabilidad hidrogeológica en los depósitos volcánicos (Peña, 2010).

Según Galás (2009), cerca de Chachas transcurre una falla transversal, el valle pierde su inclinación y cerca de Sucna (Subna) está cerrada con domos lávicos. Los domos y fisuras constituyen el inicio de las coladas de lava de 0,5-10 km de longitud. El espesor de estas

⁷ Informe Técnico Sustentatorio (ITS) para la Modificación de componentes del Proyecto «Central Hidroeléctrica Laguna Azul» aprobado mediante Resolución Sub Gerencial Regional N.º 163-2017-GRA/ARMA-SGCA.

coladas es normalmente de 10-30 m, y cuando se superponen unas sobre otras o se acumulan en la parte frontal, alcanzan espesores respectivamente mayores.

De acuerdo con Galás (2018), desde la fisura inicial, situada en el borde del domo, sale sulfuro de hidrógeno y sobre la lava agrietada se ha precipitado el azufre en forma nativa, así como el yeso. El río acumula un cono de afluencia y forma un lago de presa (Laguna de Chachas). A continuación, el río Andahua desaparece debajo de los flujos de lava, de forma inesperada, y al cabo de 18 km, vuelve a surgir debajo de las lavas creando la laguna Mamacocha y un corto tramo de desfiladero hasta Tingo ubicado encima del río Colca. En la Figura 4.4 se observa el modelo hidrogeológico de la surgencia Mamacocha.

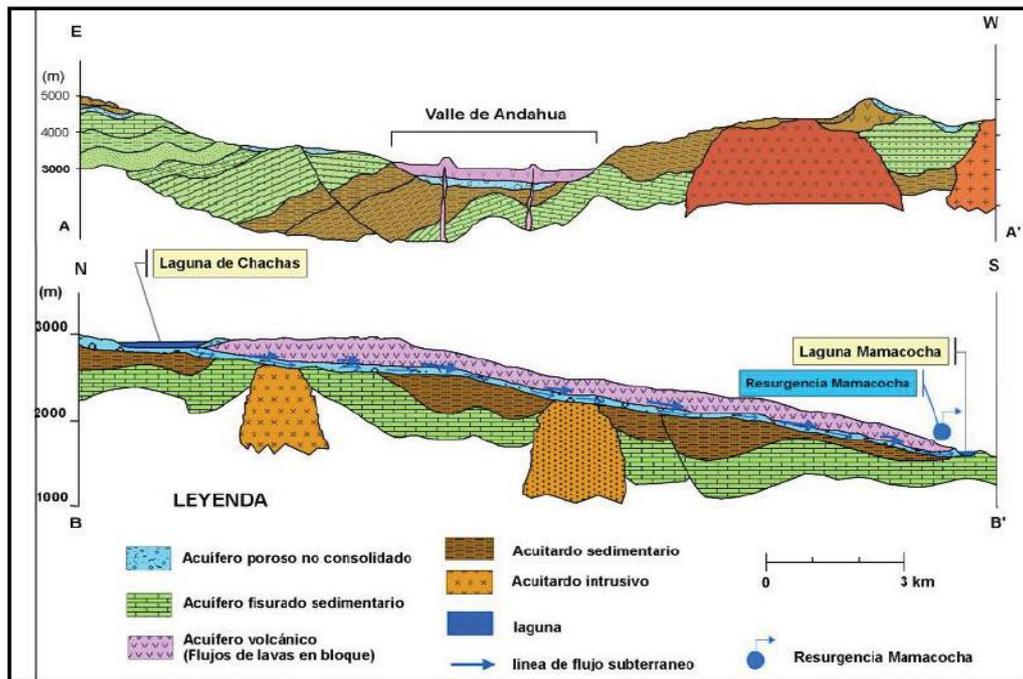


Figura 4.4. Modelo hidrogeológico de la resurgencia Mamacocha
Fuente: Peña (2010)

4.4. Aspectos arqueológicos

En el valle de los volcanes de Andahua se han encontrado restos arqueológicos, ruinas preincaicas e incaicas y restos de terrazas de cultivos, caminos y cementerios según lo reportado por Imarpe (2017), lo que fue corroborado durante la evaluación realizada al encontrar una pintura rupestre al lado oeste de la laguna Mamacocha (Figura 4.5)

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad



Figura 4.5. Pintura rupestre ubicada al oeste de la laguna Mamacocha

4.5. Aspectos biológicos

Según Lajo (2017), la importancia de la laguna Mamacocha radica en su particular biodiversidad, que la convierten en un santuario de fauna silvestre debido a la presencia de especies de flora tales como molles, sauces, carrizales, entre otros, que constituyen el hábitat para especies de aves, mamíferos y reptiles. Entre las especies que habitan en la laguna Mamacocha, destaca la nutria o huallaque (Figura 4.6), que es una de las nutrias más pequeñas del mundo, las características de su pelaje de color café oscuro (más claro en la parte ventral) le confieren aislamiento de las frías aguas (Iriarte, 2008; Quintana *et al.*, 2009) y en general son animales solitarios, de aspecto tímido y escurridizo, excepto en época reproductiva en que se observan parejas o individuos con las crías (Cabello, 1978).



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad



Figura 4.6. Laguna Mamacocha y su habitante *Lontra felina* «nutria o huallaque»

5. CONTEXTO SOCIAL

De acuerdo con el Censo peruano del 2017⁸ el distrito de Ayo está conformado por 5 centros poblados (Ayo, Subna, Acho, Utme y Anta) que en conjunto cuentan con una población de 245 personas que habitan 69 viviendas; mientras que, 49 viviendas tienen ocupantes ausentes y 63 viviendas están abandonadas y cerradas⁹. Según el mismo censo, el centro poblado de Ayo, capital del distrito del mismo nombre, tiene una población de 90 personas.

Ayo es una localidad ubicada en el último punto de la carretera que llega desde la localidad de Andagua, y siendo una población pequeña cuenta con una institución educativa inicial y otra de educación primaria (con 16 estudiantes en el 2018¹⁰ y 14 en el 2019¹¹), lo que hace que la juventud que termina la primaria se traslade a otras ciudades, principalmente Arequipa, para continuar sus estudios, muchas veces junto a sus padres. Esta situación, sumada a la búsqueda de mejores oportunidades de trabajo y de vida, ha generado que una buena parte de la población nacida en Ayo viva en Arequipa u otras ciudades, los que en buen número mantienen sus direcciones de vivienda en Ayo, por lo que pertenecen al padrón electoral del distrito que suma 313 electores¹² (personas mayores de 18 años), constituyéndose en una fuerza electoral importante para la elección de las autoridades municipales del distrito a pesar de no ser habitantes permanentes en el pueblo¹³.

Esta situación configura a la población de Ayo como longeva, encontrándose pocos niños y muy pocos jóvenes entre sus habitantes permanentes, lo que habría disminuido significativamente la fuerza laboral para mantener la producción en las tierras agrícolas disponibles y pone en riesgo que se mantengan algunos servicios del Estado (como educación y salud) e incluso su estatus de distrito.

⁸ XII Censo de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas

⁹ Datos consultados en el Sistema de Consulta de Centros Poblados del Instituto Nacional de Estadística e Informática (<http://sige.inei.gob.pe/test/atlas/>)

¹⁰ Dato consultado en el Sistema ESCALE del Ministerio de Educación del Perú (<http://escale.minedu.gob.pe/padron-de-ijee>)

¹¹ Dato obtenido en entrevistas con la población.

¹² Dato obtenido del padrón de electores del Padrón Electoral del Organismo Nacional de Procesos Electorales – ONPE (<http://www.onpe.gob.pe/elecciones/padron-electoral/>)

¹³ En Arequipa, donde se concentra buena parte de la población ayeña migrante se tienen organizaciones de residentes entre las que destaca la Asociación Distrital Victoria Ayo, fundada en 1945.



En cuanto a servicios básicos, la localidad de Ayo cuenta con un puesto de salud de nivel I-2 (con una médica, una enfermera y un técnico enfermero) que pertenece a la microred Andagua y a la Red de Salud Castilla, Condesuyos - La Unión.

Respecto al saneamiento, los pobladores indican que se cuenta con el servicio de agua y alcantarillado el cual viene funcionando con dificultades en el tratamiento del agua para consumo (que se toma de un canal de riego) y para el tratamiento de las aguas servidas por la falta de mantenimiento de los biodigestores destinados para ese fin; temas que su municipalidad está gestionando para que se resuelvan, según la información brindada por las autoridades de saneamiento de la municipalidad.

Sobre la energía eléctrica, Ayo cuenta con una mini central hidroeléctrica instalada en la laguna Mamacocha y que se diseñó para proveer alumbrado domiciliario a «aproximadamente 600 focos» (demanda existente hace varios años, cuando se construyó), potencia que actualmente es insuficiente para atender la demanda de uso de equipos eléctricos y electrónicos modernos como las congeladoras; motivo por el cual la población hace un uso racional de sus equipos, desconectándolos por horas, para no causar el colapso del sistema y el corte del servicio general. En entrevistas con la población y sus autoridades se ha informado de planes para ampliar la cobertura y seguridad del servicio eléctrico a través del aumento de la capacidad de la micro central existente y/o a través de la conexión a la red de energía nacional, planes que estarían en gestión.

Respecto a las comunicaciones, Ayo no cuenta con emisoras radiales propias y por su ubicación son pocas las señales de radiodifusión que pueden ser captadas por los pobladores. Para transmitir la información de interés común las comunicaciones se dan de manera personal, lo cual es funcional por tratarse de un poblado pequeño, poco disperso y con poca población. Para algunos anuncios importantes como la comunicación del fallecimiento de algún poblador o la convocatoria para alguna reunión general se utiliza un tradicional llamado de campanas de su iglesia.

Las comunicaciones con parientes e interlocutores fuera de la localidad se dan en la actualidad por telefonía celular a través de la cobertura que un único operador brinda para las comunicaciones de voz y muy limitadamente para la transmisión de datos.

La movilidad de personas y mercancías a la localidad se da a través de una carretera asfaltada desde la ciudad de Arequipa y que transcurre por el valle del río Majes, pasando por Aplao para luego subir hacia Machahuay y Andagua. A partir de esta última localidad se cuenta con una carretera estrecha y de asfalto simple que llega hasta Ayo como punto final. Se cuenta con servicio público de transporte hasta Arequipa (con una duración entre 10 y 12 horas) a través de 3 empresas (2 de pasajeros y 1 de carga, pero que también transporta personas) que se turnan a uno por día.

Actualmente, la situación de «punta de carretera» de Ayo está a punto de cambiar por la construcción de una vía que partiendo de Arequipa pasará por las localidades de Pedregal y Huambo, llegando hasta Ayo como punto de entrada al Valle de los Volcanes y las localidades de la provincia de Castilla, acortando el tiempo de viaje a casi la mitad (se indica que será de 6 horas aproximadamente) y que permitiría el acceso de un flujo considerable de turistas que visitarían el Valle de los Volcanes y la laguna Mama Cocha, posibilitando así una alternativa de ingresos a la población; asimismo, el mejor acceso vial permitiría que la producción de frutas y verduras de Ayo pueda mejorar para salir al mercado de Arequipa



(actualmente la producción es básicamente de autoconsumo o de pequeña producción que sale a la localidad de Orcopampa) o incluso para ser exportado¹⁴.

Las actividades económicas potenciales de Ayo se encuentran en la recuperación y aprovechamiento de sus productivas tierras agrícolas y en la atención del turismo que se espera se genere con la inauguración de la nueva carretera que acortará las distancias con la ciudad de Arequipa y otras ciudades cercanas¹⁵.

6. PARTICIPACIÓN CIUDADANA

La EAT se desarrolló considerando las etapas del «Reglamento de Participación Ciudadana en las acciones de monitoreo ambiental a cargo del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental», siendo estas las siguientes:

- Etapa 1. Coordinación previa con los actores involucrados
- Etapa 2. Convocatoria
- Etapa 3. Inscripción en los programas de inducción
- Etapa 4. Realización de la inducción
- Etapa 5. Taller para la presentación de la propuesta del plan de monitoreo ambiental participativo
- Etapa 6. Ejecución del monitoreo ambiental participativo
- Etapa 7. Taller para la presentación de los resultados del monitoreo ambiental participativo

Adicionalmente, a fin de determinar los puntos de muestreo de los componentes ambientales se realizó una visita de reconocimiento ambiental en el área de influencia del proyecto Laguna Azul, producto de dicha visita se emitió el Informe N.º 325-2018-OEFA/DEAM-STEC.

6.1. Etapa 1

La coordinación previa con los actores involucrados se realizó el 24 de julio de 2018 y permitió establecer acuerdos con los actores involucrados para realizar la EAT.

6.2. Etapa 2 al 5

Debido a las coordinaciones realizadas en la etapa 1, la convocatoria, inscripción en los programas de inducción, realización de la inducción y taller para la presentación de la propuesta del plan de monitoreo ambiental se realizaron el 19 de setiembre de 2018.

Los actores sociales involucrados en el desarrollo de la EAT, se presentan en la Tabla 6.1., todos pertenecen al distrito de Ayo, provincia de Castilla, departamento de Arequipa.

Tabla 6.1. Actores sociales involucrados en el desarrollo de la EAT en el área de influencia del proyecto Laguna Azul

Actores	Cargo	Nombre y Apellido
Distrito de Ayo	Alcaldesa*	Distrito de Ayo
Subprefecta	Subprefecta	
Oficial PNP	Oficial PNP	
Presidenta	Presidenta	
		Frente de desarrollo del distrito de Ayo

¹⁴ Se ha identificado un grupo de productores de paltas que cuentan con plantones que producirán sus frutos en los siguientes años y que tienen como mira poder exportarlos.

¹⁵ Cabe destacar que la ONG Grupo GEA ha trabajado el fortalecimiento de capacidades para la atención del turismo en Ayo y otras localidades de la provincia de Castilla, apoyando la mejora de los servicios de restaurantes y de hospedajes de familias locales.

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

Actores	Cargo	Nombre y Apellido
Responsable	Responsable	Comunidad Local de Administración de Salud - CLAS del distrito de Ayo
Presidente	Presidente	Comité de Usuarios de Riego del distrito de Ayo

(*) Asumió el cargo de alcaldesa período 2019-2021 en reemplazo del ex alcalde Abigael Mejía Vega autoridad con quien se realizó las acciones de coordinación previa

El cronograma de las etapas 1 al 5 descritas y el número de participantes, se detalla a continuación en la Tabla 6.2. Las actas de participación ciudadana se encuentran en el Anexo 7.

Tabla 6.2. Cronograma de la EAT en el área de influencia del proyecto Laguna Azul

Etapas	Fecha	Participantes hombres	Participantes mujeres	Total
Etapas 1: Coordinación previa con los actores involucrados	24 de julio de 2018	16	18	34
Etapas preliminar reconocimiento ^(A)	Del 16 al 21 de setiembre de 2018			
Etapas 2 Convocatoria ^(B)	19 de setiembre de 2019	30	20	50
Etapas 3: Inscripción en los programas de inducción				
Etapas 4: Realización de la inducción				
Etapas 5: Taller para la presentación de la propuesta del plan				
Etapas 6: Ejecución del monitoreo	Del 16 al 24 de octubre de 2018	8	-	8
	Del 29 de abril al 8 de mayo de 2019	5	1	6
Etapas 7: Taller para la presentación de resultados ^(C)	-	-	-	-

- No se cuenta con registro.

(A) Esta etapa no está considerada en el reglamento de Participación Ciudadana, pero es necesaria para el reconocimiento técnico del área de estudio.

(B) La convocatoria se realizó mediante cartas, oficios y perifoneo local.

(C) Actividad pendiente hasta la emisión del informe final y se realizará previa coordinación con los actores participantes.

7. METODOLOGÍA

En este apartado se presenta la metodología empleada en la EAT en el área de influencia del proyecto Laguna Azul. Dicha metodología está dividida para cada uno de los componentes ambientales evaluados y estudios especializados durante los años 2018 y 2019.

7.1. Agua Superficial

En los apartados siguientes se muestra la metodología desarrollada para evaluar la calidad del componente agua superficial, comprende el procedimiento para la toma de muestras, la ubicación de los puntos de muestreo, parámetros y métodos de análisis, equipos utilizados, aseguramiento de la calidad y criterios de comparación.

7.1.1. Guías utilizadas para la evaluación

La metodología aplicada para la evaluación de agua superficial en ríos, quebradas, lagunas y manantiales se enmarcó en el capítulo 6: «Monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales» del «Protocolo Nacional para el Monitoreo de Calidad de Recursos Hídricos Superficiales»¹⁶ donde se establecen los criterios técnicos y lineamientos generales a

¹⁶ Aprobado el 11 de enero de 2016 mediante Resolución Jefatural N.º 010-2016-ANA.



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

aplicarse en las actividades de monitoreo de la calidad de agua, el detalle de las secciones utilizadas se presenta en la Tabla 7.1

Tabla 7.1. Referencias para el muestreo de agua superficial

Referencia	Sección	País	Institución	Dispositivo legal	Año
Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales	Sección 6, ítem 6.1, 6.2, 6.3(a), 6.4, 6.8, 6.9, 6.10, 6.11, 6.14, 6.15 (a, b, e), 6.16, 6.17, 6.18* y 6.19	Perú	Autoridad Nacional del Agua (ANA)	Resolución Jefatural N.º 010-2016-ANA	2016

Nota: Cabe señalar que también se consideraron los requerimientos establecidos por el laboratorio acreditado encargado de la analítica.

(*) Solo considera como control de calidad los duplicados de campo

7.1.2. Ubicación de puntos

Los puntos de muestreo fueron ubicados considerando la información obtenida en el reconocimiento del proyecto Laguna Azul en octubre de 2018; y de los IGA aprobados para el proyecto Laguna Azul.

Los principales cuerpos de agua evaluados en el área de influencia del proyecto Laguna Azul son la laguna Mamacocha, río Mamacocha, río Colca, quebrada Subna, un manantial sin nombre; adicionalmente se tomaron muestras de agua de riego provenientes del río Ayo y en la descarga de la laguna Chachas y río Chachas.

La primera ejecución se desarrolló del 16 al 24 de octubre de 2018, donde se evaluaron un total de 14 puntos de muestreo de agua. Del total de puntos de muestreo, 5 corresponden a lagunas, 2 a canales, 1 a manantial, 1 a quebrada y 6 a ríos. La segunda ejecución se desarrolló del 29 de abril al 8 de junio de 2019. Se evaluaron 12 puntos; de los puntos evaluados 5 corresponden a lagunas, 2 a canales, 1 a manantial, 1 quebrada y 3 a ríos. En la Tabla 7.2 se muestra la ubicación de los puntos de muestreo evaluados durante el 2018 y 2019.

Tabla 7.2. Ubicación de los puntos de muestreo

N.º	Cuerpo receptor	Puntos de muestreo	Coordenadas UTM WGS-84 Zona 18 L		Descripción
			Este (m)	Norte (m)	
Lagunas					
1	Laguna Mamacocha ^a	LMam-1	795153	8264905	Ubicado en la laguna Mamacocha, punto de recarga
2	Laguna Mamacocha ^a	LMam-2	795341	8264907	Ubicado en la laguna Mamacocha, lado este
3	Laguna Mamacocha ^a	LMam-3	795251	8264723	Ubicado en la laguna Mamacocha, lado oeste
4	Laguna Mamacocha ^a	LMam-4	795399	8264629	Ubicado en la laguna Mamacocha, punto de descarga
5	Laguna Chachas ^a	LCha-1	793543	8280748	Ubicado en la laguna Chachas, punto de descarga
Canales					
6	Canal de la microcentral Ayo ^a	DMCA-1	795467	8264570	Ubicado en el canal de descarga de la microcentral Ayo
7	Canal de riego Ayo ^b	CAAyo-2	792624	8264599	Ubicado en el tramo final del canal de riego Ayo, parte alta
8	Canal de riego Ayo ^c	CAAyo-1	792351	8264553	Ubicado en el tramo final del canal de riego Ayo, parte baja
Manantial					
9	Manantial sin nombre ^a	MSN-1	795361	8264064	Ubicado en el manantial sin nombre, a 650 m aguas abajo de la descarga de la laguna Mamacocha, lado oeste
Quebrada					

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

N.º	Cuerpo receptor	Puntos de muestreo	Coordenadas UTM WGS-84 Zona 18 L		Descripción
			Este (m)	Norte (m)	
10	Quebrada Subna ^a	QSub-1	796484	8277940	Ubicado en la quebrada Subna, a 50 m al sur del colegio del Anexo Subna
Ríos					
11	Río Mamacocha	RMam-4	796424	8261037	Ubicado en el río Mamacocha, a 200 m antes de la confluencia con el río Colca
12	Río Colca ^c	RCol-2	796482	8260962	Ubicado en el río Colca, a 150 m después de la confluencia con el río Mamacocha
13	Río Chachas ^c	RCha-1	793149	8279156	Ubicado en el río Chachas, a 2 km de la descarga de la laguna Chachas
14	Río Mamacocha ^a	RMam-2	794893	8263559	Ubicado en el río Mamacocha a 1,2 km de la descarga de la laguna Mamacocha
15	Río Mamacocha ^a	RMam-3	795320	8261226	Ubicado en el río Mamacocha, a 1 km antes de la confluencia con el río Colca.
16	Río Colca ^a	RCol-1	796502	8261130	Ubicado en el río Colca, a 100 m antes de la confluencia con el río Mamacocha

a: punto de muestreo evaluado en el primer monitoreo (2018) y 2019 (segundo monitoreo).

b: punto de muestreo evaluado solo en el primer monitoreo (2018). Los puntos de muestreo CAAyo-1 y RCha-1 no registraron flujo.

c: punto de muestreo evaluado solo en el segundo monitoreo (2019). Los puntos RMam-2, RMam-3 y RMam-4 no se evaluaron por falta de acceso al punto, debido a deslizamiento de rocas.

Nota: la evaluación del primer monitoreo se encuentra detallada en el informe N.º 325-2018-OEFA/DEAM-STEC.

7.1.3. Parámetros y métodos de análisis

En los puntos de muestreo se realizaron *in situ* mediciones de los parámetros de campo como son: potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (CE), oxígeno disuelto (OD), temperatura (T) y potencial óxido-reducción (ORP).

En la Tabla 7.3 se muestra los parámetros y métodos de análisis considerados por los laboratorios acreditados ante el Instituto Nacional de Calidad (Inacal).

Los resultados de la primera ejecución en octubre de 2018 se encuentran en el Anexo 1 (Informe N.º 366-2018-OEFA/DEAM-STEC). Los resultados de parámetros de campo y resultados de laboratorio del monitoreo realizado en mayo 2019 se encuentran en el Anexo 4 (Reporte de resultados N.º 212-2019-SSIM).

Tabla 7.3. Parámetros evaluados y métodos de análisis de agua superficial durante el 2018 y 2019

Nº	Parámetros	Método de ensayo de referencia	Laboratorio de ensayo acreditado
	(mg/L)		
1	Metales disueltos por ICP-MS	EPA 6020A, Rev. 1 February 2007	ALS LS PERU S.A.C.
2	Metales totales por ICP-MS	EPA 6020A, Rev. 1 February 2007	
3	Silicatos	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500- SiO ₂ , D, 22nd Ed. 2012 (Validado)	
4	Demanda química oxígeno (DQO)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed. 2017	
5	Bifenilos policlorados (PCB)	EPA METHOD 8082 A, Rev.1 2007	
6	Aceites y grasas	ASTM D7066-04 (validado), 2011	
7	Sulfato	EPA METHOD 300.1 Rev. 1,1997 (Validado). 2015	
8	Fluoruro	EPA METHOD 300.1 Rev. 1, 1997 (Validado)	
9	Cloruro	EPA METHOD 300.1 Rev. 1,1997 (Validado). 2015	
10	Nitrógeno amoniacal	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500- NH ₃ F, 22nd Ed. 2012	



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

N°	Parámetros	Método de ensayo de referencia	Laboratorio de ensayo acreditado
	(mg/L)		
11	Sólidos suspendidos totales - SST	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 22nd Ed. 2012	
12	Sólidos totales disueltos -STD	SWEWW-APHA-AWWA- WEF Part 2320 B, 23rd Ed. 2017	
13	Bicarbonato	EPA METHOD 300.1 Rev. 1,1997 (Validado). 2015	
14	Carbonato	EPA METHOD 300.1 Rev. 1,1997 (Validado). 2015	
15	Fosfato*	EPA METHOD 365.3, 1983	

(*) Este parámetro solo se evaluó en el 2018

Fuente: Informes de ensayo del laboratorio de ALS LS PERÚ S.A.C y de AQG PERÚ S.A.C.

7.1.4. Equipos utilizados

Para la medición de parámetros de campo de agua superficial se utilizó un multiparámetro con sondas de PH, OD, CE y ORP. Para el caso de medición de caudal en algunos puntos de interés se utilizó un correntómetro; así mismo, se utilizaron cámaras fotográficas y GPS para el registro de cada punto evaluado. El detalle de los equipos utilizados en octubre 2018 se encuentra en el Anexo 1 (Informe N.º 366-2018-OEFA/DEAM-STEAC) y de los equipos utilizados en mayo 2019 se encuentran en el Anexo 3 (Reporte de campo N.º 219-2019-SSIM).

7.1.5. Aseguramiento de la calidad

El aseguramiento de la calidad en la colecta de las muestras de agua y su posterior análisis se basó en las indicaciones descritas en la publicación «Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales» aprobada por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) mediante Resolución Jefatural N.º 010-2016-ANA, según se detalla en la Tabla 7.1 del ítem 7.1.5. Guías utilizadas para la evaluación.

7.1.6. Criterios de comparación

Los resultados de agua superficial (ríos, quebradas, lagunas y manantiales) fueron comparados con los Estándares Nacionales de Calidad para Agua (en adelante, ECA para Agua) aprobados por el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM.

Según la Resolución Jefatural N.º 056-2018-ANA¹⁷, «Clasificación de los Cuerpos de Agua Continentales Superficiales» el río Mamacocha y Colca poseen una clasificación con categoría 1(A2) y 3, respectivamente (Tabla 7.4). Cabe precisar que, al río Mamacocha se le asignará adicionalmente la categoría 3 debido a que CH Mamacocha comparará sus resultados con dicha categoría⁵.

Tabla 7.4. Categoría de comparación para los cuerpos de agua en el área de influencia del proyecto Laguna Azul

Código cuerpo de agua	Cuerpo de agua	Categoría	Código de cuenca
13472	Río Mamacocha	Categoría 1 (A2)	134
13473	Río Colca	Categoría 3	134

De forma similar, las lagunas fueron comparadas con la categoría 4, Conservación del ambiente acuático, subcategoría E1: lagunas y lagos (en adelante, Cat4E1), la cual comprende a los cuerpos de agua lénticos de origen natural que no presentan corriente

¹⁷ Resolución Jefatural N.º 056-2018-ANA. «Clasificación de los Cuerpos de Agua Continentales Superficiales». Aprobada el 13 de febrero de 2018.



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

continua, tipificado en el literal a) del inciso 3.4 del artículo 3 del Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM. Los estándares de comparación para agua se detallan en la Tabla 7.5.

Tabla 7.5. Estándares de comparación para agua superficial

Norma vigente y aprobada en el IGA del administrado
Agua superficial: Lóticos (ríos, quebradas y manantiales*)
Categoría 1: «Poblacional y Recreacional», subcategoría A2: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional, de los ECA para Agua, Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM
Categoría 3: «Riego de vegetales y bebida de animales», subcategorías D1: Riego de animales y D2: Bebida de animales, de los ECA para Agua, Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM
Agua superficial: Lénticos (lagunas)
Categoría 4: «Conservación del ambiente acuático» subcategorías E1: Lagunas y lagos, de los ECA para Agua, Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM

(*) Solo para el caso del manantial será comparado referencialmente.

El único punto de manantial evaluado fue considerado como agua superficial en amparo del artículo 226º del Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos, la cual indica que:

Los manantiales como puntos o áreas aflorantes de las aguas subterráneas serán considerados como aguas superficiales para los efectos de evaluación y otorgamientos de derechos de uso de agua, toda vez que para su utilización no se requiere la realización de mecanismos ni obras específicas de extracción.

7.2. Sedimentos

En los apartados siguientes se muestra la metodología desarrollada para evaluar la calidad del componente sedimento, comprende el procedimiento para la toma de muestras, la ubicación de los puntos de muestreo, parámetros y métodos de análisis, equipos utilizados, aseguramiento de la calidad y criterios de comparación.

7.2.1. Guías utilizadas para la evaluación

Debido a que aún no se cuenta con un protocolo nacional para el monitoreo y evaluación de sedimento de agua continental, se utilizó las referencias indicadas en la Tabla 7.6

Tabla 7.6. Referencias para el muestreo de sedimentos

Referencia	Sección	País	Institución	Dispositivo legal	Año
Procedimiento de Operación Estándar – <i>Standard Operating Procedure (SOP)</i> . #EH-02, Muestreo de Sedimento, de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, adaptado del ERT/EAC SOP # 2016 ¹⁸	Capítulo 11	Estados Unidos	Agencia de Protección Ambiental (EPA)	----	2001
Procedimiento para el muestreo de aguas y sedimento para la determinación de metales	Sección 7.3, 8, y 9.2	Colombia	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	----	2011

Nota: Cabe señalar que también se consideraron los requerimientos establecidos por el laboratorio acreditado encargado de la analítica.

¹⁸ *Environmental Protection Agency (EPA). Technical Standard Operating Procedure #EH-02, Sediment Sampling*
https://www.epa.gov/sites/production/files/documents/r8-src_eh-02.pdf



7.2.2. Ubicación de puntos

En la primera ejecución en el mes de octubre de 2018 se tomaron 3 muestras de sedimento, la ubicación y descripción de los puntos se observa en la Tabla 7.7.

Mientras que en la segunda ejecución en el mes de mayo de 2019 no se tomaron muestras de sedimento. Cabe precisar que, en algunos puntos de muestreo de agua superficial no se encontró muestras representativas de sedimentos debido al fuerte caudal y en otros casos no se pudo acceder a los puntos; específicamente en el río Mamacochoa.

Tabla 7.7. Ubicación de los puntos de muestreo de sedimento durante el 2018

N.º	Cuerpo receptor	Puntos de muestreo	Coordenadas UTM WGS-84 Zona 18 L		Descripción
			Este (m)	Norte (m)	
Lagunas					
1	Laguna Mamacochoa	LMam-2	795341	8264907	Ubicado en la laguna Mamacochoa, lado este
2	Laguna Chachas	LCha-1	793590	8280950	Ubicado en la laguna Chachas, punto de descarga
Ríos					
3	Río Mamacochoa	RMam-3	795320	8261226	Ubicado en el río Mamacochoa, a 1 km antes de la confluencia con el río Colca.

7.2.3. Parámetros y métodos de análisis

Para la selección de los parámetros a analizar se consideraron los estándares establecidos en la Guía de calidad ambiental de Canadá (*Canadian Environmental Quality Guidelines* [CEQG]) del año 2001 y que fue modificada en el año 2011. Sobre esta base se priorizaron los parámetros relacionados con la actividad del proyecto Laguna Azul. En la Tabla 7.8 se presenta el parámetro analizado y método de análisis.

Tabla 7.8. Parámetros evaluados y métodos de análisis de sedimento durante el 2018

N.º	Parámetros (mg/L)	Método de ensayo de referencia	Laboratorio de ensayo acreditado
	1		
2	Materia orgánica	Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT20; ítem 7.1.7 AS-07. Determinación de Materia Orgánica (AS-07 Walkley y Black). (Validado) 2017	SGS S. A.

Fuente: Informes de ensayo del laboratorio de ALS LS PERÚ S.A.C y de AQQ PERÚ S.A.C.

7.2.4. Equipos utilizados

Para el muestreo de sedimento solo se utilizaron materiales como cucharón y bandeja; adicionalmente se utilizaron cámaras fotográficas y GPS para el registro de cada punto evaluado. El detalle de los equipos utilizados en octubre 2018 se encuentra en el Anexo 1 (Informe N.º 366-2018-OEFA/DEAM-STEC). y de los equipos utilizados en mayo 2019 se encuentran en el Anexo 3 (Reporte de campo N.º 219-2019-SSIM).

7.2.5. Aseguramiento de la calidad

Respecto al aseguramiento de calidad del muestreo de sedimento, no hay actividades específicas respecto al control de calidad; sin embargo, se aplicaron los siguientes procedimientos:

- ✓ Toda la data recopilada en campo fue documentada en las hojas de campo del muestreo.



- ✓ Todos los instrumentos fueron operados de acuerdo con las instrucciones provistas por el proveedor.

Durante el muestreo la cantidad de muestra colectada fue de acuerdo con las especificaciones del laboratorio de ensayo encargado de la analítica.

7.2.6. Criterios de evaluación

Debido a que el Perú aún no cuenta con estándares nacionales de calidad ambiental para sedimentos, para la comparación de metales totales se utilizó de manera referencial¹⁹ los valores de los estándares de la «Guía de calidad ambiental canadiense para sedimentos de aguas continentales» (*Canadian Environmental Quality Guidelines. Sediment Quality Guidelines for Protection of Aquatic Life of Freshwater – CEQG-SQG, 2001*)²⁰ del Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente.

La «Guía de calidad ambiental canadiense para sedimentos de aguas continentales» define 2 valores límites, los cuales se describen a continuación:

- *Interim Sediment Quality Guidelines* - ISQG (valores guía provisional de calidad de sedimento): representa el nivel por debajo del cual no se esperan efectos biológicos adversos.
- *Probable Effect Level* - PEL (nivel de efecto probable): representa el nivel de concentración química más bajo que-usualmente o siempre-está asociado a efectos biológicos adversos.

Los valores establecidos en esta guía se presentan en la Tabla 7.9

Tabla 7.9. Valores estándares de comparación para metales en sedimento de agua continental

Parámetro	Norma Canadiense (CEQG-SQG)	
	ISQG (mg/kg PS)	PEL (mg/kg PS)
Arsénico	5,9	17
Cadmio	0,6	3,5
Cobre	35,7	197
Cromo	37,3	90
Mercurio	0,17	0,486
Plomo	35	91,3
Zinc	123	315

Fuente: Canadian Council of Ministers of the Environmental - CCME (1999, actualizado en 2001).

PS: Peso seco

7.3. Comunidades hidrobiológicas

En los apartados siguientes se muestra la metodología desarrollada para evaluar las comunidades hidrobiológicas, comprende la guía y protocolo utilizado, la ubicación de puntos de muestreo, los parámetros y métodos de análisis, los equipos utilizados y el

¹⁹ Según indica en Ministerio del Ambiente mediante el Oficio N.º121-2018-MINAM/VMGA

²⁰ Disponible en: https://www.ccme.ca/en/resources/canadian_environmental_quality_guidelines/ Consultado el 26 de febrero de 2019.



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

procesamiento de datos de la evaluación de comunidades hidrobiológicas (plancton, perifiton, macrobentos y peces), realizado en octubre de 2018 y mayo de 2019.

7.3.1. Guías utilizadas para la evaluación

La Tabla 7.10 se presenta la guía de referencia para el muestreo de comunidades hidrobiológicas, donde se describen las diferentes técnicas de muestreo, y de las cuales se eligieron las aplicables para el área de influencia del proyecto Laguna Azul

Tabla 7.10. Guías utilizadas para la evaluación de comunidades hidrobiológicas

Matriz	Autoridad emisora	País	Referencia	Año	Capítulos
Hidrobiología	Ministerio del Ambiente (Minam)	Perú	Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú	2014	4.1.2 Técnicas de colecta – perifiton
					5.1.2.2 Métodos de recolección cuantitativos – bentos (macroinvertebrados)
					6.1.2 Diseño del monitoreo – necton (peces)

7.3.2. Ubicación de puntos

La ubicación de los 11 puntos de muestreo se detalla en la Tabla 7.11, de los cuales 3 fueron considerados como ambientes lénticos y 8 como lóticos; sin embargo, dependiendo de la época evaluada se encontraron cambios en los ambientes acuáticos, los cuales se registran en la Tabla 7.11.

Tabla 7.11. Ubicación de los puntos de muestreo para comunidades hidrobiológicas

N.º	Cuerpo receptor/lugar/Poblado	Puntos de muestreo	Coordenadas UTM WGS-84 Zona 18 L		Descripción
			Este (m)	Norte (m)	
Lénticos					
1	Laguna Mamacochoa	LMam-2	795341	8264907	Ubicado en la laguna Mamacochoa, lado este
2	Laguna Mamacochoa	LMam-3	795251	8264723	Ubicado en la laguna Mamacochoa, lado oeste
3	Laguna Chachas	LCha-1*	793543	8280748	Ubicado en la laguna Chachas, punto de descarga
Ríos					
4	Laguna Mamacochoa	LMam-1**	795153	8264905	Ubicado en la laguna Mamacochoa, punto de recarga
5	Laguna Mamacochoa	LMam-4**	795399	8264629	Ubicado en la laguna Mamacochoa, punto de descarga
6	Quebrada Subna	QSub-1	796484	8277940	Ubicado en la quebrada Subna, a 50 m al sur del colegio del Anexo Subna
7	Río Mamacochoa	RMam-4	796424	8261037	Ubicado en el río Mamacochoa, a 200 m antes de la confluencia con el río Colca
8	Río Colca	RCol-2	796482	8260962	Ubicado en el río Colca, a 150 m después de la confluencia con el río Mamacochoa
9	Río Chachas	RCha-1	793149	8279156	Ubicado en el río Chachas, a 2 km de la descarga de la laguna Chachas
10	Río Mamacochoa	RMam-3	795320	8261226	Ubicado en el río Mamacochoa, a 1 km antes de la confluencia con el río Colca.
11	Río Colca	RCol-1	796502	8261130	Ubicado en el río Colca, a 100 m antes de la confluencia con el río Mamacochoa

(*) Durante el monitoreo de octubre 2018 fue considerado como ambiente léntico ya que la laguna no registraba descarga.

(**) Puntos ubicados en la laguna Mamacochoa; sin embargo, al ser puntos de recarga (LMam-1) y descarga (LMam-4) con corriente de agua son considerados como ambientes lóticos.



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

Tabla 7.12. Comunidades hidrobiológicas evaluados por puntos de muestreo

N.º	Cuerpo de agua	Puntos de muestreo	2018			2019		
			Plancton	Perifiton	MB	Plancton	Perifiton	MB
1	Laguna Chachas	LCha-1 ^c	x	x	x		x	x
2	Río Chachas	Rcha-1					x	x
3	Quebrada Subna	QSub-1		x	x		x	x
4	Laguna Mamacocha	LMam-1		x	x		x	x
5		LMam-2	x	x	x	x		x
6		LMam-3 ^a	x		x	x		x
7		LMam-4					x	x
8	Río Mamacocha ^b	RMam-3		x	x			
9		RMam-4		x	x			
10	Río Colca	RCol-1		x	x		x	x
11		RCol-2		x	x		x	x
Total			3	8	9	2	7	9

MB: Macroinvertebrados bentónicos

a: Solo se evaluó en 2019 debido a la gran profundidad registrada en el punto de muestreo en 2018.

b: En la evaluación de 2019 no se colectaron muestras debido a la inaccesibilidad a los puntos.

c: En la evaluación de 2018, el ambiente fue considerado como léntico (plancton) y en la evaluación de 2019 debido al fuerte caudal se evidenció un ambiente lóxico (perifiton).

d: En la evaluación de 2018 el río estuvo seco.

(*) Las muestras de peces y metales en tejido solo se colectaron en época húmeda.

7.3.3. Parámetros y métodos de análisis

Las comunidades hidrobiológicas analizadas con sus respectivos métodos de análisis se detallan en la Tabla 7.13. Los resultados de laboratorio del monitoreo en el 2018 y 2019 se encuentran en el Anexo 5.

Tabla 7.13. Parámetros evaluados y métodos de análisis de comunidades hidrobiológicas en el 2018 y 2019

N.º	Parámetros	Método de ensayo de referencia	Laboratorio
1	Plancton (fitoplancton y zooplancton)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 10200 C. Item 1 y 2. 22nd Ed. 2012. Plankton Sample Analysis. Sedgwick-Rafter count. Inverted Microscope Method Counts.	OEFA (*)
2	Perifiton (microalgas y microorganismos)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 10300 C. Item 1 y 2. 22nd Ed. 2012. Periphyton Sample Analysis. Sedgwick-Rafter count. Inverted Microscope Method Counts.	
3	Macroinvertebrados bentónicos	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 10500 C.1,2, 22nd Ed. 2012. Benthic Macroinvertebrates Sample Processing and Analysis	
4	Peces	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 10600 C.1,2, 22nd Ed. 2012. Fishes Sample Processing and Analysis.	ALS LS PERU S.A.C.

(*) Las muestras fueron identificadas por especialistas taxónomos de la Dirección de Evaluación Ambiental del OEFA.

7.3.4. Equipos utilizados

Para el muestreo de comunidades hidrobiológicas se utilizaron equipos como red Surber para el muestreo de macroinvertebrados bentónicos en una superficie total de 0,27 m², red estándar de plancton de 20 micras para la colecta de plancton, red de espera para la colecta de peces en la laguna Mamacocha y atarraya para colecta de peces en el río Colca; adicionalmente, se utilizaron cámaras fotográficas y GPS para el registro de cada punto evaluado. El detalle de los equipos utilizados en el año 2018 se encuentra en el Anexo



1 (Informe N.º 366-2018-OEFA/DEAM-STEC) y de los equipos utilizados en mayo 2019 se encuentran en el Anexo 3 (Reporte de campo N.º 212-2019-SSIM).

7.3.5. Aseguramiento de la calidad

El aseguramiento de la calidad en la colecta de las comunidades hidrobiológicas y su posterior análisis se basa en las indicaciones descritas en la publicación «Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú», de las secciones 4.3 Aseguramiento de la calidad (perifiton) y 5.3 Aseguramiento de la calidad (macroinvertebrados bentónicos).y 6.3 Comprobación de la calidad (peces).

7.3.6. Procesamiento de datos

Para el análisis de los resultados obtenidos en la evaluación de comunidades hidrobiológicas, se procedió a caracterizar las comunidades del plancton, perifiton, macrobentos y peces, teniendo en cuenta lo presentado a continuación.

7.3.6.1 Composición, riqueza y abundancia

La clasificación taxonómica (phylum, clase, orden, familia y especie) de las comunidades de plancton (fitoplancton y zooplancton), perifiton (microalgas y microorganismos), macrobentos y peces evaluados en los ambientes acuáticos correspondientes al área de influencia del proyecto Laguna Azul se encuentra en el Anexo 5.

La evaluación de la riqueza y densidad (abundancia) de las comunidades de plancton (fitoplancton y zooplancton), perifiton (microalgas y microorganismos) se desarrollaron en base a la categoría taxonómica phylum. Por otro lado, la evaluación de la riqueza y la abundancia de las comunidades de macrobentos y peces se desarrolló en base a la categoría taxonómica orden.

Es necesario indicar que los resultados de abundancia se analizaron en base a la densidad de la muestra, representándose los resultados para plancton (fitoplancton y zooplancton) en organismos/ml, para perifiton (microalgas y microorganismos) en organismos/cm², para macrobentos en organismos/muestra y peces en número de individuos.

7.3.6.2 Diversidad alfa

La diversidad alfa está relacionada al número de especies de un grupo indicador que se encuentra en una determinada estación o área que puede variar mucho de un lugar a otro, aún dentro de un mismo tipo de comunidad y en un mismo ecosistema (Moreno y Halffter, 2000).

Números de Hill (diversidad verdadera)

Los índices de diversidad verdadera son modificaciones de los índices comunes de Shannon (H') y Simpson (D) con la finalidad de ajustar la sensibilidad para determinar el comportamiento de la diversidad. En base a esta modificación, se empezó a hacer uso el término «números efectivos de especies», que son las unidades de medición de la diversidad verdadera (Moreno *et al.*, 2011). De ese modo, los datos obtenidos de las comunidades hidrobiológicas se analizan con números efectivos de especies (Hill, 1973; Jost, 2006).



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

Para la evaluación de diversidad de especies (diversidad alfa) se utilizaron los índices de diversidad verdadera (números de Hill) en base al número de especies de cada punto de muestreo para cada comunidad hidrobiológica. Para ello, se usó la variable N1 como la modificación del índice Shannon-Wiener (H') (Jost, 2006) que tiene como fórmula:

$$N1 = \exp(H') \quad (7.1)$$

Donde:

H' : índice de Shannon-Wiener

Números de equidad de Pielou

El cual mide la proporción de la diversidad observada con relación a la máxima diversidad esperada. Su valor va de 0 a 1, de forma que 1 corresponde a situaciones donde todas las especies son igualmente abundantes (Pielou, 1975). Su fórmula es la que se indica a continuación:

$$J' = \frac{H'}{H'_{max}} \quad (7.2)$$

Donde:

J' : índice de equidad de Pielou

H' : índice de diversidad de Shannon-Wiener

H'_{max} : $\ln(S)$

S: número de especies

Dominancia de Simpson

Índice de diversidad de Simpson (1-D)

Es uno de los parámetros que nos permiten cuantificar la biodiversidad de un hábitat a partir de la distribución proporcional de organismos en una comunidad, tomando en cuenta el número de grupos taxonómicos en el sitio, así como la abundancia de cada uno de ellos. Los valores oscilan entre cero a uno ver Tabla D3.5-3. Un valor cercano a cero indica que la comunidad tiene muy pocos grupos taxonómicos o un gran número de grupos taxonómicos, pero la mayoría de ellos son raros.

$$D = \sum (n/N)^2 \quad (7.3)$$

Donde:

N = total de organismos presentes;

n = número de ejemplares por especie;

Este índice representa la dominancia, a medida que el índice aumenta la diversidad decrece.

7.3.6.3 Diversidad beta

Para la evaluación de diversidad beta se utilizó el coeficiente de similitud de Bray Curtis en base a la similitud de especies entre puntos de muestreo para cada comunidad hidrobiológica.

Para determinar el índice de Bray Curtis se empleó la fórmula:



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

$$B = 1 - \frac{\sum_{i=1}^S |X_{ij} - X_{ik}|}{\sum_{i=1}^S [X_{ij} + X_{ik}]} \quad (7.4)$$

Donde:

- B*: medida de Bray Curtis entre las muestras *j* y *k*
X_{ij}: número de individuos de la especie *i* en la muestra *j*
X_{ik}: número de individuos de la especie *i* en la muestra *k*
S: número de especies

Para facilitar el análisis de los valores de similitud de manera visual, se procedió a la elaboración de dendogramas mediante la unión de pares promedio (Sokal, 1958; Crisci y López, 1983) utilizando el programa estadístico PAST (Hammer *et al.*, 2001). Esa gráfica resume la similitud de las especies entre dos puntos de muestreo.

7.3.6.4 Calidad ecológica según los macroinvertebrados bentónicos

La calidad ecológica se evaluó en 3 puntos y se realizó a través del índice biótico andino (*Andean Biotic Index*, denominado como ABI por sus siglas en inglés) y el protocolo de calidad ecológica de ríos altoandinos simplificado (CERA-S) obtenido mediante el programa CABIRA, que permite obtener la calidad biológica de los ríos altoandinos con altitudes superiores a los 2000 m s.n.m.

Calidad ecológica de ríos altoandinos (CERA-S)

El protocolo CERA-S da como resultado el estado ecológico de los ríos mediante la combinación de la valoración hidromorfológica (Tabla 7.14) y la calidad biológica (macrobentos). La base del protocolo es la valoración de la calidad biológica del río y las características de su entorno y su representación mediante una combinación sencilla de colores que permite, a quien no tiene una formación científica especializada, observar rápidamente cual es el estado de salud de un río (Encalada *et al.*, 2011).

Tabla 7.14. Características y puntuaciones hidromorfológica según el protocolo CERA-S

Características y puntuaciones hidromorfológica				
Características		Presencia o tipo	Puntuación	
Estructura y naturalidad de la vegetación de ribera	Vegetación de ribera	Paramo o puna	Presencia de Paramo Herbáceo	5
		Bosque	Presencia de Paramo mixto	5
			Presencia de Paramo Frailejones	5
			Presencia de Páramo degradado (Hierbas cortas y pisadas)	2
			Presencia de tierra baldía o cangahua	0
	Bosque de Polylepis		5	
	Continuidad de la ribera	Vegetación de ribera	Bosque mixto	5
			Plantaciones de eucaliptos y pinos	3
			Matorral arbustos	3
			Presencia de cultivos o pastos	1
Tierra baldía o cagahua			0	
Bosque		Continuo	5	
		Manchas grandes	3	
		Vegetaciones aisladas	1	
		Conectividad de la vegetación de ribera con otros elementos del paisaje adyacentes	Paisaje compuesto de vegetación (páramo o bosque) en más de un 75%	5
			Paisaje compuesto de bosques con cultivos inferior a 50%	3
Paisajes con cultivos con más del 50%	1			
Vegetación próxima a elementos de urbanismo que ocupan menos del 50%	2			

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

Características y puntuaciones hidromorfológica		
Características	Presencia o tipo	Puntuación
	Vegetación próxima a elementos de urbanismo que ocupan más del 50%	0
Presencia de basura y escombros	riberas sin basura ni escombros	5
	Ribera con basura y/o escombros escasos	2
	Ribera con basura y/o escombros abundantes	0
Naturalidad del canal fluvial	Canal natural sin alteraciones antropológica	5
	Canal modificado por terrazas sin una estructura sólida o cemento	3
	Canal con estructuras rígidas parciales	1
	Canal totalmente modificado por estructuras rígidas	0
Composición del sustrato*	Bloques	1
	Piedras	1
	Cantos	1
	Grava	1
	Arena	1
	Arcilla y lodo	1
Regímenes de la velocidad y profundidad del río**	Rápido-somero	1
	Rápido-profundo	1
	Lento-somero	1
	Lento-profundo	1
Elemento de heterogeneidad*	Hojarasca	1
	Troncos y ramas	1
	Diques naturales	1
	Raíces sumergidas	1
	Vegetaciones acuáticas sumergidas (musgos y plantas)	1
	Vegetaciones acuáticas sumergidas (Algas)	1

*: se suman cada tipo de sustrato y heterogeneidad.

**: se suma cada tipo y si están las 4 opciones se suma 1 adicional.

La sumatoria obtenida se compara con la tabla de «calidad hidromorfológica» (Tabla 7.15).

Tabla 7.15. Calidad hidromorfológica acuerdo a la puntuación del protocolo CERA-S

Puntuación hidromorfológica	Estado ecológico
>35	Excelente
29 – 35	Bueno
21 – 28	Moderada
11 – 20	Mala
0 – 10	Pésima

En la Tabla 7.16 están clasificados los invertebrados indicadores de calidad más comunes presentes en los ríos altoandinos, lo cual se obtiene la calidad biológica mediante la presencia o ausencia de los macroinvertebrados.



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

Tabla 7.16. Calidad biológica de acuerdo con la puntuación del protocolo CERA-S

Presencia de macroinvertebrados bentónicos					Calidad biológica
Blephariceridae	Plecoptera	Leptoceridae	Limnephilidae	Leptophlebiae	Excelente*
Hyaella	Elmidae	Scirtidae	Hidrobiosidae	Leptohyphydae	Bueno**
Chironomidae verde	Simulidae	Hirudinea	Gateropoda	Baetidae	Moderada ***
Chironomidae rojo	Syrphydae	Oligochaeta			Mala****
Sin vida					Pésima*****

*: solo si encuentras al menos dos de los invertebrados de la fila azul.

** : solo si encuentras como mínimo dos invertebrados de la fila verde o uno de la azul y otro del verde o amarillo.

***: si encuentras solo uno de la fila verde y uno amarillo, o dos de la fila amarillo.

****: si encuentras solo un invertebrado de la fila azul, verde o amarillo con otros de la fila naranja, o solo dos naranjas.

*****: si solo encuentras un tipo de invertebrado o ninguno.

La calidad ecológica se obtiene mediante la recombinación de la calidad hidromorfológica y la calidad biológica, lo cual en la Tabla 7.17 se observa el patrón de la recombinación entre las diferentes calidades.

Tabla 7.17. Calidad ecológica: recombinación entre la calidad hidromorfológica y biológica según el protocolo CERA-S

Recombinación de las calidades		Calidad biológica				
Calidad hidromorfológica	Excelente	Excelente	Bueno	Moderada	Mala	Pésima
	Bueno	Bueno	Moderada	Mala	Pésima	
	Moderada	Moderada	Mala	Pésima		
	Mala	Mala	Pésima			
	Pésima	Pésima				

En la Tabla 7.18 se obtiene el resultado final de las diferentes calidades ecológicas según el protocolo CERA-S, después de la recombinación de la calidad hidromorfológica y la calidad biológica.

Tabla 7.18. Calidad ecológica según el protocolo CERA-S

Calidad ecológica
Excelente
Bueno
Moderada
Mala
Pésima

Índice Biótico Andino (Andean Biotic Index - ABI)

La calidad de los hábitats acuáticos en los distintos grupos evaluados se realizó a través del ABI (índice biótico andino en inglés *Andean Biotic Index*). Este índice fue desarrollado para ríos altoandinos (sobre los 2000 m s.n.m.) y se obtiene sumando los valores de sensibilidad de cada familia de macroinvertebrados bentónicos presente en cada punto de muestreo (Tabla 7.19). Cabe indicar que índice ABI, forma parte de un protocolo de evaluación de la Calidad Ecológica de los Ríos Andinos (CERA) (Acosta *et al.*, 2009).

Tabla 7.19. Puntajes de sensibilidad asignadas a las familias de macroinvertebrados bentónicos para la obtención del índice ABI

Orden / Clase	Familia	Puntaje	Orden / Clase	Familia	Puntaje
Turbellaria	*	5	Tricoptera	Polycentropodidae	8
Hirudinea	*	3		Xiphocentronidae	8
Oligochaeta	*	1		Glossosomatidae	7
Gasteropoda	Ancylidae	6		Limnephilidae	7

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

Orden / Clase	Familia	Puntaje	Orden / Clase	Familia	Puntaje	
	Hydrobiidae	3	Lepidoptera	Hydroptilidae	6	
	Limnaeidae	3		Hydropsychidae	5	
	Physidae	3		Pyralidae	4	
	Planorbidae	3		Dryopidae	5	
Bivalvia	Sphaeriidae	3	Coleoptera	Elmidae	5	
Amphipoda	Hyalellidae	6		Hydraenidae	5	
Hydracarina		4		Lampyridae	5	
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	10		Psephenidae	5	
	Oligoneuridae	10		Ptilodactylidae	5	
	Leptohiphidae	7		Scirtidae(helodidae)	5	
	Baetidae	4		Gyrinidae	3	
Odonata	Polythoridae	10		Dytiscidae	3	
	Calopterygidae	8		Hydrophilidae	3	
	Gomphidae	8		Staphylinidae	3	
	Aeshnidae	6		Blepharoceridae	10	
	Coenagrionidae	6		Athericidae	10	
Plecoptera	Libellulidae	6		Simuliidae	5	
	Perlidae	10		Tipulidae	5	
Heteroptera	Gripopterygidae	10		Diptera	Ceratopogonidae	4
	Corixidae	5			Dixidae	4
	Gerridae	5	Dolichopodidae		4	
	Naucoridae	5	Empididae		4	
	Notonectidae	5	Limoniidae		4	
	Veliidae	5	Stratiomyidae		4	
	Belostomatidae	4	Tabanidae		4	
Tricoptera	Anomalopsychidae	10	Psychodidae		3	
	Calamoceratidae	10	Chironomidae		2	
	Helicopsychidae	10	Culicidae		2	
	Odontoceridae	10	Ephyridae		2	
	Hydrobiosidae	8	Muscidae		2	
	Leptoceridae	8	Syrphidae		1	
	Philopotamidae	8				

Fuente: Acosta *et al.*, 2009

La sumatoria obtenida se compara con la tabla de «estados de calidad ecológica de agua» (Tabla 7.20) propuesta por (Acosta *et al.*, 2009).

Tabla 7.20. Estado de la calidad ecológica del agua según el ABI en Perú

Estado de la calidad ecológica	ABI	Color
Muy bueno	>74	Azul
Bueno	45 – 74	Verde
Moderado	27 – 44	Amarillo
Malo	11 – 26	Naranja
Pésimo	<11	Rojo

7.4. Evaluación hidroquímica

En los apartados siguientes se muestra la metodología desarrollada para evaluar la hidroquímica de las aguas superficiales, comprende la ubicación de los puntos de muestreo y procesamiento de datos.



7.4.1. Ubicación de puntos

Los puntos de muestreo considerados en esta sección corresponden a los mismos puntos de agua superficial evaluados en el área de influencia del proyecto Laguna Azul (Tabla 7.1) como la laguna Mamacocha, río Mamacocha, río Colca quebrada Subna, un manantial sin nombre y; adicionalmente se tomaron muestras de agua de riego provenientes del río Ayo y en la descarga de la laguna Chachas y río Chachas.

La primera ejecución correspondiente a la época seca de la Laguna Mamacocha y río Mamacocha se desarrolló del 16 al 24 de octubre, donde se evaluaron un total de 14 puntos de muestreo de agua. Del total de puntos de muestreo, 5 corresponden a Lagunas, 2 a canales, 1 a manantial, 1 a quebrada y 6 a ríos.

La segunda ejecución correspondiente a la época húmeda de la Laguna Mamacocha y río Mamacocha se desarrolló del 29 de abril al 8 de junio de 2019. Se evaluaron 12 puntos. De los puntos evaluados 5 corresponden a Lagunas, 2 a canales, 1 a manantial, 1 quebrada y 3 a ríos.

7.4.2. Procesamiento de datos

El procesamiento de datos considero los siguientes criterios.

7.4.2.1. Relación de los iones y sólidos disueltos con la conductividad

Para determinar la relación lineal de la conductividad eléctrica con los sólidos disueltos totales (SDT), concentración que describe la presencia de sales inorgánicas y pequeñas cantidades de materia orgánica en el agua que pasan por un filtro de 0,45 μm , se establecen valores de K (relación entre los SDT y la conductividad) con un valor típico de 0,7, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$SDT (mg/L) = k * Conductividad (\mu S/cm) \quad (7.5)$$

No obstante, hay diversos factores como el incremento y la composición de la concentración de los iones (diferente mezcla de sales disueltas) como el agua de mar, continental y destilada que involucran diferentes valores de K para obtener una relación precisa entre los SDT y la conductividad (Walton, 1989)²¹. De esa manera, la Figura 7.1 muestra una vista generalizada de los cambios de los valores de K con el incremento de los TDS en los distintos tipos de agua.

²¹ Otros 2 factores que involucran el cambio de los valores de k es la temperatura (que incrementa la movilidad de los iones a mayor temperatura, hay un incremento del 2 % de la conductividad por cada aumento de 1 °C el cual es corregido por los equipos multiparámetros) y los efectos del pH en rango alto (> 9) y bajo (< 5), el cual contribuye al valor de la conductividad que otros cationes y aniones en el agua.

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

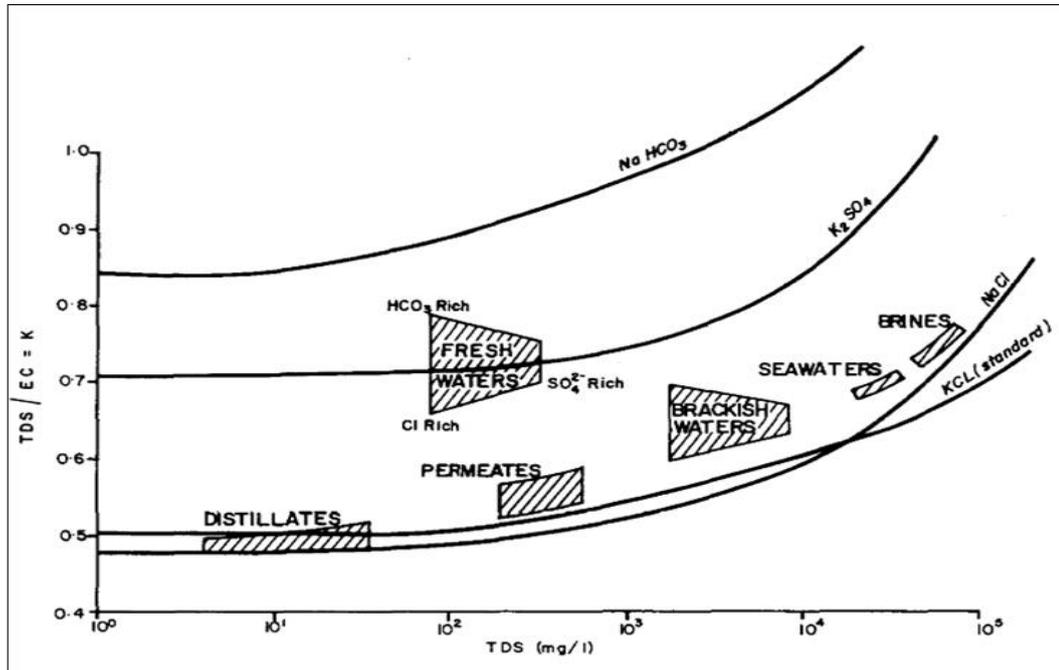


Figura 7.1. Relación de los sólidos disueltos totales (TDS) con los valores de k para diferentes tipos de agua

Fuente: Walton (1989, p.290)

De acuerdo a la Figura 7.1, existen diferentes valores de k de acuerdo al tipo de agua como: naturales (fresh water), destilada, permeada (permeates), salobres (brackish water), marina (seawaters) y salmueras (brines), los cuales pueden contener una variedad de sales disueltas de bicarbonatos, sulfatos o cloruros, por lo que se puede obtener un valor entre el rango de 0,50 a 0,85. Por tal motivo, no se justifica el uso de valor de K para todos los tipos de agua, de tomarse en cuenta llegaría a tener un error del 25 %.

En caso de la relación de la suma de iones (cationes o aniones) con la conductividad, tenemos que el criterio aceptable es dado por la *American Public Health Association* (APHA, 2012) mediante la siguiente ecuación lineal:

$$100 * \sum \text{aniones o cationes (meq/L)} = (0,9 - 1,1) * \text{Conductividad } (\mu\text{S/cm}) \quad (7.6)$$

7.4.2.2. Error balance iónico (EBI)

El balance iónico es la verificación de la suma de mili-equivalentes (meq/L) de aniones ($\sum \text{an}$) es aproximadamente igual a la suma de mili-equivalentes de cationes ($\sum \text{cat}$).²² Antes de realizar una evaluación hidroquímica se realiza el análisis mediante el cálculo del error balance iónico (en adelante, EBI) para verificar la consistencia de los mismos.

Dentro de los iones mayoritarios presentes en el agua están los cationes Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} y K^{+} para la $\sum \text{cat}$; y los aniones HCO_3^{-} , NO_3^{-} , SO_4^{2-} y Cl^{-} para el cálculo de $\sum \text{an}$. Ambas concentraciones se expresan en miliequivalentes por litro (meq/L). De esa manera se establece el error de balance iónico de acuerdo con la siguiente ecuación (Appelo *et al.*, 2005).

²² Información extraída de <http://gidahatari.com/ih-es/factores-que-influyen-el-balance-ionico>.



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

$$\text{Error de Balance Iónico (EBI)} = 100 \frac{\sum \text{cat} - \sum \text{an}}{\sum \text{cat} + \sum \text{an}} \% \quad (7.7)$$

Aunque el EBI es un valor en porcentaje, la Ecuación 7.7 incorpora un signo para mostrar la predominancia de cargas de cationes (signo positivo) o de aniones (signo negativo). Se considera aceptable un EBI entre -10 y +10 % para aguas dulces.

Dicho rango de EBI fue considerado en todos los tipos de agua (Megersa, 2015). No obstante, un EBI del 2 % es inevitable en casi todos los laboratorios, por lo que se debe aceptar un error mayor; no obstante, si el EBI es mayor a 5 %, deberán revisarse los procedimientos, análisis y el muestreo.²³ El EBI con valores positivos no es afectado por los metales en el balance iónico, siendo la subestimación de HCO_3^- una de las causas más frecuentes de un EBI muy positivo.

Al respecto, los rangos del EBI están relacionados con la conductividad del agua de acuerdo a lo planteado por Custodio y Llamas (1976) en la siguiente tabla:

Tabla 7.21. Valores aceptables de error en función a la conductividad eléctrica

Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	50	200	500	2000	>2000
Error aceptable (%)	± 30	± 10	± 8	± 4	± 4

Fuente: Custodio y Llamas (1976)

De otro lado, algunas muestras presentan valores de EBI fuera del rango óptimo de $\pm 10\%$, con valores demasiado negativos ($\ll -10\%$). Esto se da en la mayoría de los casos en muestras ácidas con altas concentraciones de metales, resultando un EBI negativo si no se toma en cuenta sobre todos los iones hidronio (H_3O^+) del pH (de preferencia en base a su actividad y no concentración) y otras especies disueltas en mayor concentración como el aluminio (Al^{3+}) y hierro (Fe^{2+}).

Al respecto de las muestras ácidas, el error de omitir los iones hidronio (H_3O^+) lleva a que el balance de carga será más negativo progresivamente a medida que el pH desciende, tal como muestra en la Figura 7.2A (Nordstrom *et al.*, 2009). En la Figura 7.1A se observa que en aguas a pH menores a 3, el ion H_3O^+ puede tener mayor concentración (en meq/L) que otros cationes y por ende su EBI es llega a valores mayores entre -50 y -100.

²³ El EBI de 5 % fue usado en los estudios de aguas subterráneas realizados por Shubhra Singh, 2015 y K. Srinivasamoorthy, 2014, entre otros.

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

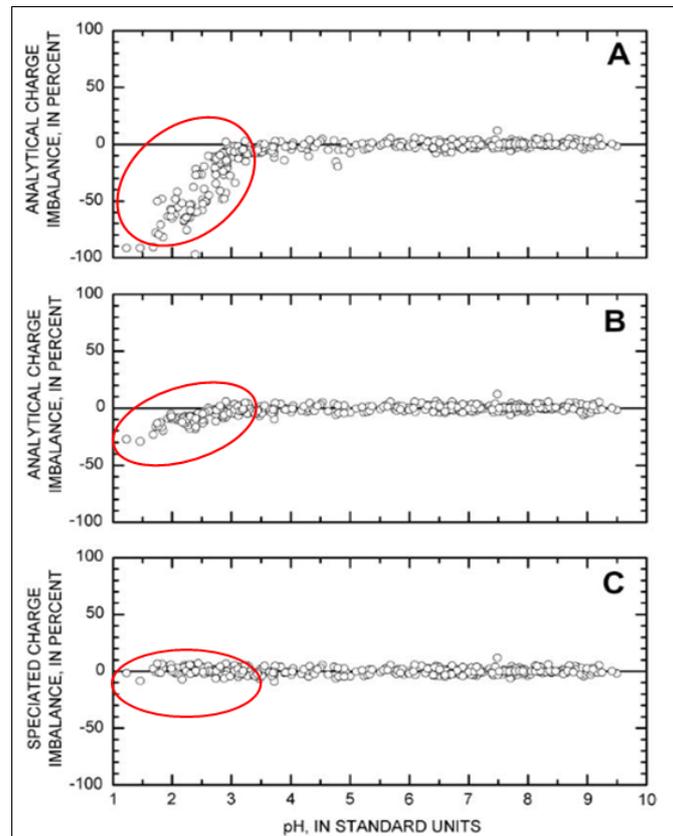


Figura 7.2. Error de omitir H_3O^+ en el balance iónico
A) EBI sin H_3O^+ , B) EBI con H_3O^+ y sin especiación y
C) EBI con H_3O^+ y con especiación
Fuente: Nordstrom *et al.* (2009)

Mientras, en la Figura 7.1B y Figura 7.1C indican que la importancia de considerar todas las especies formadas de Fe, Al, As, fluoruros y sulfatos principalmente a pH ácidos antes del cálculo del EBI, teniendo como ejemplo a los sulfatos, los cuales a pH de 1,3 a 2,7 sus iones se distribuyen en SO_4^{2-} (II) y HSO_4^{2-} (I). Una de las causas de la acidez y la disolución de metales es la rápida e intensa oxidación de piritas (FeS_2) y otros sulfuros en los acuíferos, tras intrusión de oxidantes como el O_2 , y aumento del potencial redox en un ambiente reductor de SO_4^{2-} (potencial redox Eh \ll 160 mV).

7.4.2.3. Comprobación de la corrección de análisis

La concentración total medida de sólidos disueltos debe ser mayor que la calculada (porque un contribuyente significativo no puede ser incluido en el cálculo). Si el valor medido es menor que la calculada, la suma de iones más alta y el valor medido son sospechosos; la muestra debe ser reanalizada si la concentración de sólidos medida es más de un 20% superior a la calculada, la suma baja de iones es sospechosa la muestra debe ser analizada nuevamente (APHA, 2012). La proporción aceptable es la siguiente:

$$1 < \frac{TDS_{medido}}{TDS_{calculado}} < 1.2 \quad \text{Ecuación 7.8}$$

Para el TDS calculado se utiliza la Ecuación 7.9



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

$$\text{Sólido disuelto total} = 0,6 (\text{HCO}_3^* \text{ alkalinity}) - 0,6 (\text{CO}_3^{2-} \text{ alkalinity}) - 0,17 (\text{OH}^- \text{ alkalinity}) + \text{Na}^+ + \text{K}^+ + \text{Ca}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^- + \text{NO}_3^- + \text{F}^- + \text{SiO}_3^{2-}$$

Ecuación 7.9

7.4.2.4. Selección de la serie analítica

Se seleccionó la serie analítica con la finalidad de describir las propiedades de los componentes hidroquímicos del agua. Los parámetros analizados fueron los siguientes:

- Parámetros de campo: pH, temperatura, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto
- Parámetros fisicoquímicos: bicarbonato, cloruro, sulfato, carbonato.
- Metales disueltos.

7.4.2.5. Diagramas hidroquímicos

Para caracterizar las aguas en función de la concentración de sales predominantes (cationes y aniones) e interacción con la parte orgánica y roca se elaborarán diagramas hidroquímicos (facies e índices) mediante el uso del software libre Diagrammes. Asimismo, se generaron mapas de la distribución espacial y temporal de concentraciones de cationes y aniones en todos evaluados en el 2018 y 2019, dichos mapas se encuentran en el Anexo 2 (mapas).

- **Diagrama de Stiff**

Esta gráfica está compuesta por tres 3 ejes horizontales, cada uno de ellos uniendo un catión y un anión. Todos los cationes se disponen al costado izquierdo del diagrama, y los aniones al derecho. Siempre el Na^+ se confronta con el Cl^- , el Ca^{+2} con el HCO_3^- y el Mg^{+2} con el SO_4^{2-} (a veces también se pueden mostrar otros dos (2) iones, como el Fe^{+2} contra el NO_3^-). Todos los ejes horizontales están a la misma escala (lineal) y las concentraciones están dadas en meq/L.

Son 2 las características que sobresalen en este tipo de diagrama: por un lado, permite visualizar claramente diferentes tipos de agua (cada una con una configuración particular) y, en forma simultánea, permite dar idea del grado de mineralización (ancho de la gráfica). En la Figura 7.3 se muestran algunas apreciaciones de este diagrama que caracterizan varios tipos de aguas.

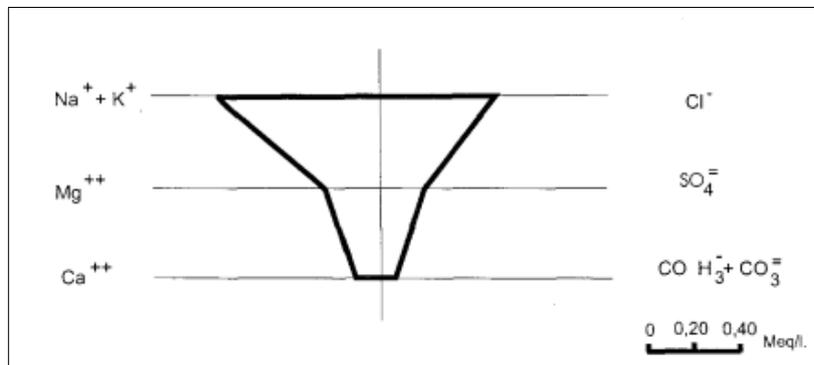


Figura 7.3.. Diagrama de Stiff

Fuente: Martínez (1998, p.105)

- **Diagrama de Piper**

Es el tipo de gráfico más utilizado ya que incluye aniones y cationes en forma simultánea. Este gráfico permite representar muchos análisis sin dar origen a confusiones. Las aguas geoquímicamente similares quedan agrupadas en áreas bien definidas (Custodio y Llamas, 1976).

Está formado por dos triángulos equiláteros, donde se representan los cationes y aniones mayoritarios. Los vértices del triángulo de cationes son Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ y K^+ . Los vértices del triángulo de aniones son SO_4^{-2} , Cl^- y HCO_3^- . Los datos de los diagramas triangulares se proyectan en un rombo central en el que se representa la composición del agua deducida a partir de aniones y cationes.

Las concentraciones de los iones dadas en meq/L se expresan como porcentaje con respecto a la suma de aniones y cationes, respectivamente. En cada triángulo se reúnen solo 3 aniones y 3 cationes. A cada vértice le corresponde el 100 % de un anión o catión (Figura 7.4).

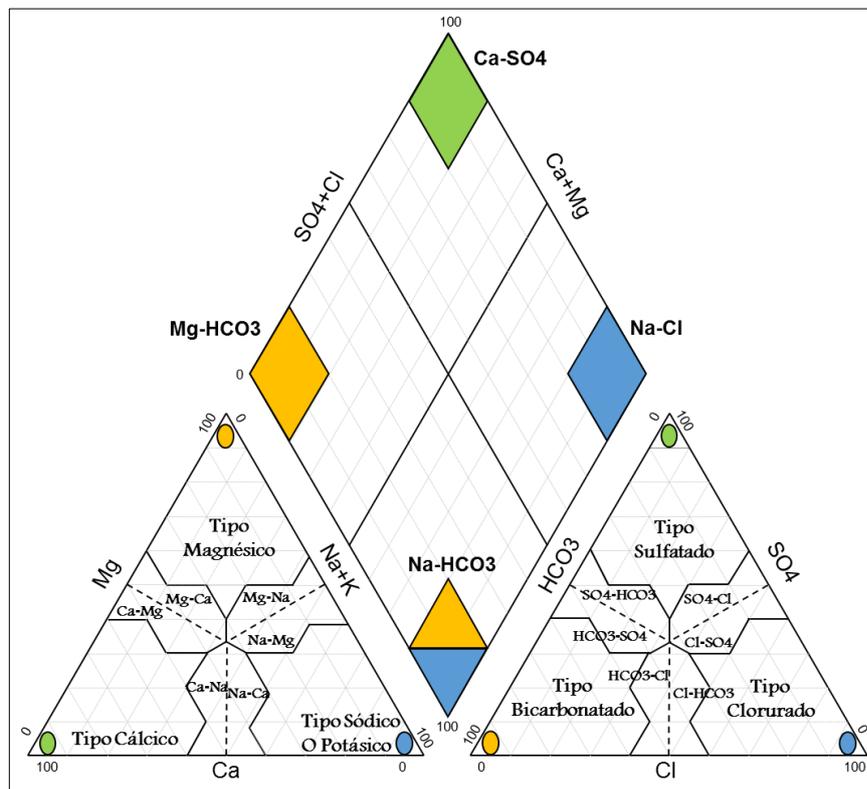


Figura 7.4.Diagrama de Piper
Fuente: Modificado de Davis y Wiests (1971, p.168)

- **Diagrama de Gibbs**

La química de las aguas subterráneas puede estar controlada por diferentes procesos y mecanismos. Entre los factores que pueden influir se encuentran el estado físico del acuífero, la mineralogía de la roca huésped y las condiciones climáticas. Gibbs (1970), propone dos diagramas, donde se grafican las variaciones de las razones $(\text{Na}^+ + \text{K}^+) / (\text{Na}^+ + \text{K}^+ + \text{Ca}^{2+})$ para los cationes y $\text{Cl}^- / (\text{Cl}^- + \text{HCO}_3^-)$ para los aniones en función del total de sólidos disueltos (TSD). Estos diagramas permiten identificar el mecanismo

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

controlador de la química en las aguas subterráneas, los cuales pueden ser la interacción con la roca, la precipitación o la evaporación (Figura 7.5).

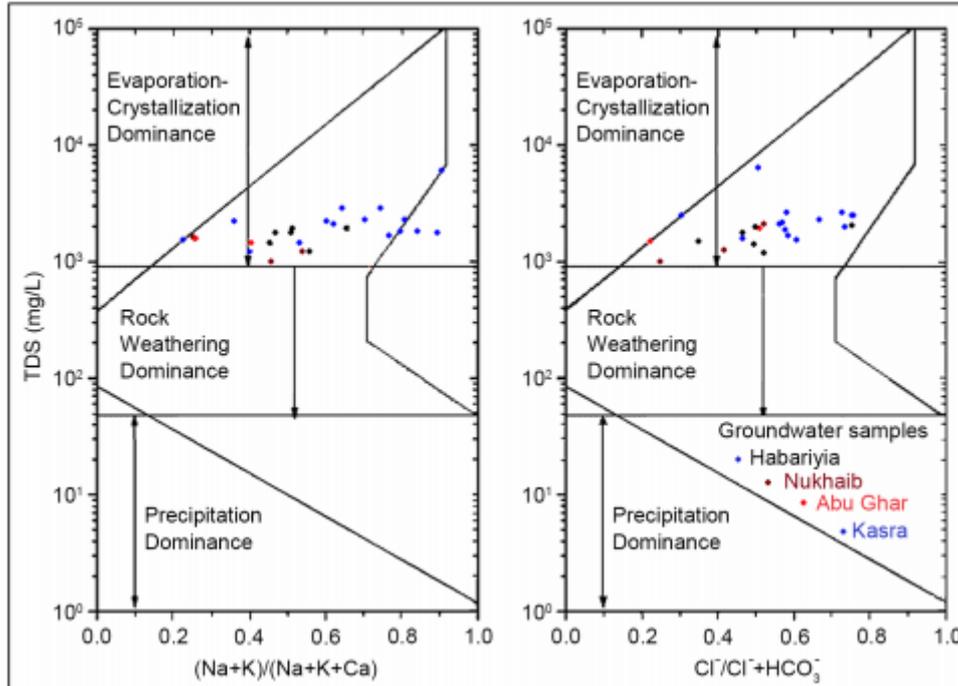


Figura 7.5. Diagrama de Gibss

Fuente: Hussien y Fayyadh (2016, p.1172)

- **Diagrama de Schoeller-Barkalof**

Se disponen varias semirrectas o columnas verticales paralelas, igualmente espaciadas y divididas en escala logarítmica y con el mismo módulo. A cada semirrecta se le asocia un anión o un catión, excepto la primera columna que no tiene asociada ningún ión y su unidad de medida es en meq/l, las demás tienen como unidad de medida mg/l (Figura 7.6).

El orden de las columnas es el siguiente:

- Columna 1: sin ión, unidad de medida meq/l
- Columna 2: Ca, unidad de medida mg/l
- Columna 3: Mg, unidad de medida mg/l
- Columna 4: Na, unidad de medida mg/l
- Columna 5: Cl, unidad de medida mg/l
- Columna 6: SO₄, unidad de medida mg/l
- Columna 7: HCO₃, unidad de medida mg/l
- Columna 8: NO₃, unidad de medida mg/l

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

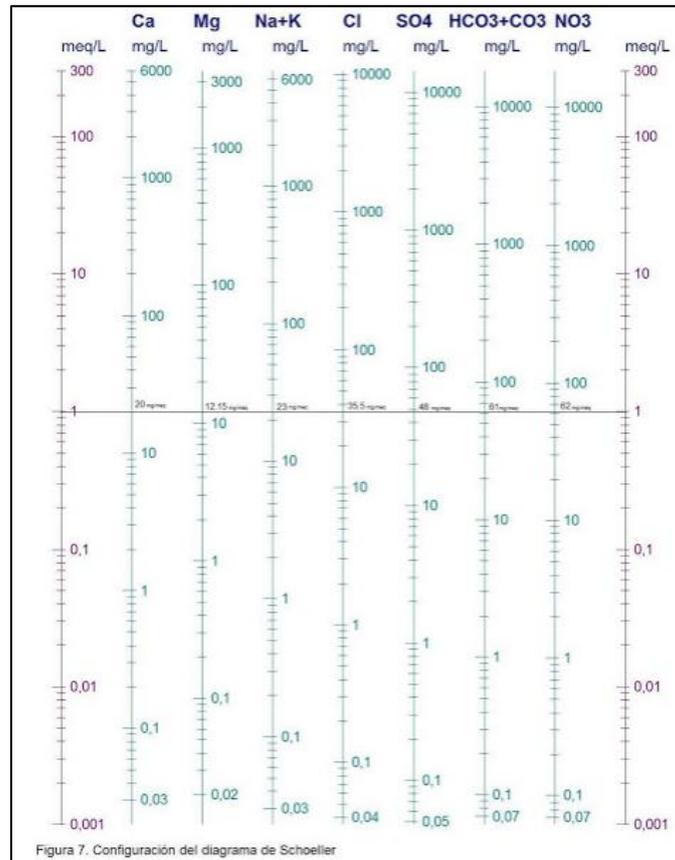


Figura 7. Configuración del diagrama de Schoeller

Figura 7.6. Diagrama de Schoeller-Barkalof

Fuente: Custodio y Llamas (1976)

- **Diagrama de Scatter**

El diagrama consta de 2 gráficas que contienen una nube de dispersión de cada par de valores de todas las muestras en una región. El ajuste de una recta de regresión permite cuantificar el grado de covariabilidad entre determinados iones (una covariación alta suele indicar un origen común mientras que discrepancias importantes suelen ser atribuibles a mezclas de aguas de diversos orígenes).

La pendiente de la recta de regresión interpolada da una idea de la afinidad o susceptibilidad de los iones representados a reaccionar en el contexto específico.

Las concentraciones de los 3 iones principales, CO_3H^- , Cl^- y SO_4^{2-} , aumentan, por lo general, cuando lo hace la conductividad del agua, pero, las pendientes de las rectas de regresión que relacionan dichas concentraciones con la conductividad indican que la mayor distribución a la salinidad del agua corresponde al ión de pendiente más acusada (Fernandez, 2009).

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

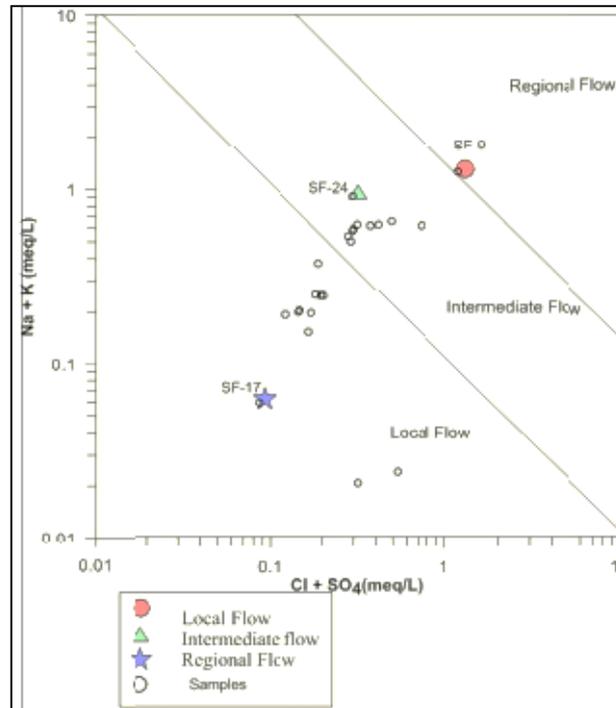


Figura 7.7. Diagrama de Scatter
Fuente: Morán (2014, p137)

- **Diagrama de Korjinski**

Korjinski ha demostrado que el estudio de conjuntos complejos de minerales podría realizarse a partir de diagramas que introducen los potenciales químicos de los elementos móviles. En la Figura 7.8 se muestra un ejemplo de equilibrio entre silicatos, el diagrama muestra como ordenadas $\log ([Na^+]/[H^+])$ y abscisa $\log (Log H_4SiO_4)$ en presencia de cuarzo a 300°C.

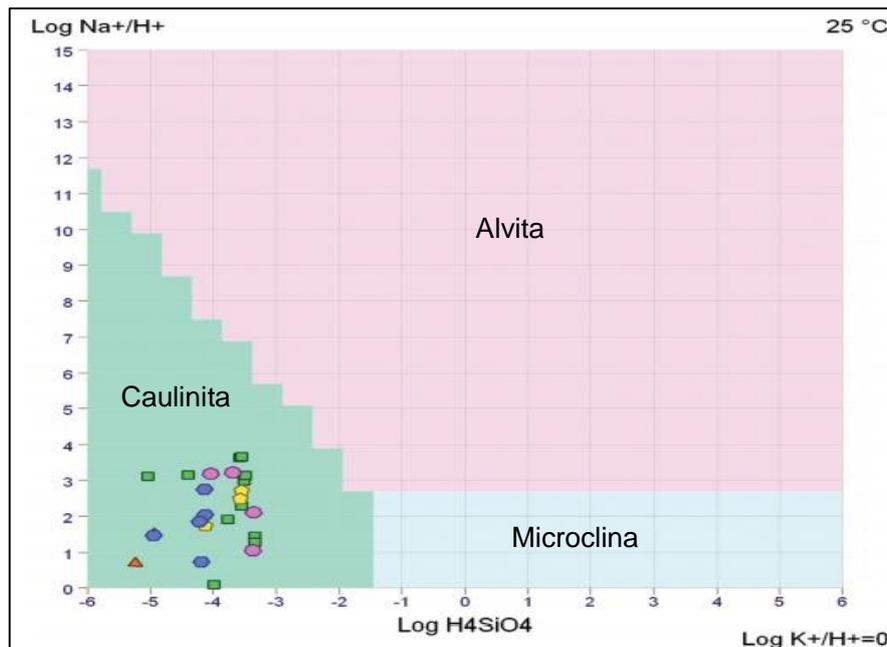


Figura 7.8. Diagrama de Korjinski
Fuente: Mouncherou *et al.* (2011, p.76)



7.5. Caracterización geológica

La caracterización geológica en el área de influencia del proyecto Laguna Azul consistió en la descripción litológica, estructural, alteraciones y mineralógico en zonas aledañas a los componentes proyectados y relacionados con las matrices ambientales como agua superficial, sedimento y comunidades hidrobiológicas. Dicha información fue recopilada durante la etapa preliminar de reconocimiento en área de influencia del proyecto Laguna Azul, realizado del 16 al 21 de setiembre del 2018.

7.5.1. Guías utilizadas para la evaluación

Los estándares o protocolos tomados como referencia para la caracterización geológica corresponden a los servicios geológicos del Perú, Colombia y Estados Unidos. Las recomendaciones mencionadas en las guías y manuales internacionales se listan en la Tabla 7.22.

Tabla 7.22. Referencias para la caracterización geológica

Referencia	Sección	País	Institución o autor	Año
Manual de estándares de cartografía para la digitalización de los mapas geológicos CGN a escala 1:100 000	Todas	Perú	Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (Ingemmet)	2016
Basic Geological Mapping	Todas	Reino Unido	Richard J. Lisle, Peter Brabham, y John Barnes	2011
Geological field techniques	Todas	Reino Unido	Angela L. Coe, Tom W. Argles, David A. Rothery y Robert A. Spicer	2010
FGDC Digital Cartographic Standard for Geological Map Symbolization	Todas	Estados Unidos	Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, en inglés <i>United States Geological Survey</i>)	2006
Geological Structures and Maps	Todas	Reino Unido	Richard J. Lisle	2004
Estándares cartográficos y de manejo de información gráfica para mapas geológicos	Todas	Colombia	Servicio Geológico Colombiano (Ingeominas)	2001

Las referencias de geología regional corresponden a la base geológica del cuadrángulo Huambo-32r (Caldas, 1993) que forma parte de la Carta Geológica Nacional a escala 1:100 000. Asimismo, se considerará la actualización a escala 1:50 000 realizado por Romero y Ticona (2003), ambos realizados por Ingemmet. La referencia local corresponde a los estudios realizados y presentados en los IGA del administrado.

7.5.2. Ubicación de puntos

La caracterización geológica se realizó en el área de influencia indirecta del proyecto Laguna Azul, que comprende la parte media y baja de la cuenca Mamacochoa, principalmente desde la descarga de la laguna Chachas hasta la confluencia del río Mamacochoa con el río Colca.

Los puntos de observación geológica se ubicaron estratégicamente en zonas asociadas a los componentes proyectados (estructura de captación, canal de conducción de agua, ingreso y salida del túnel) y aledaños a la laguna Mamacochoa (cuerpo de agua principal), los cuales se detallan en la Tabla 7.23.



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

Tabla 7.23. Puntos de muestreo de geología

N.º	Punto de muestreo	Coordenadas UTM WGS-84 Zona 18 L		Descripción
		Este (m)	Norte (m)	
1	CG-LA-01	795212	8264942	Ubicado aproximadamente a 50 m del borde norte de la laguna Mamacocha
2	CG-LA-02	795132	8264722	Ubicado aproximadamente a 100 m del borde oeste de la laguna Mamacocha
3	CG-LA-03	795320	8264655	Ubicado aproximadamente a 75 m al oeste de la descarga de la laguna Mamacocha
4	CG-LA-04	795337	8263969	Ubicado en la margen izquierda del río Mamacocha, aproximadamente a 700 m aguas abajo de la descarga de la laguna Mamacocha
5	CG-LA-05	795357	8264063	Ubicado en el manantial sin nombre, aproximadamente a 600 m aguas debajo de la descarga de la laguna Mamacocha
6	CG-LA-06	792628	8264593	Ubicado en el canal de riego, aproximadamente a 350 m al este de la localidad de Ayo
7	CG-LA-07	796291	8260997	Ubicado en la margen derecha del río Mamacocha, aproximadamente a 180 m antes de la confluencia con el río Colca
8	CG-LA-08	796374	8260968	Ubicado en la margen derecha del río Mamacocha, aproximadamente a 50 m antes de la confluencia con el río Colca
9	CG-LA-09	796370	8261185	Ubicado en el lecho del río Mamacocha, aproximadamente a 180 m antes de la confluencia con el río Colca
10	CG-LA-10	796482	8260962	Ubicado en la margen derecha del río Colca, aproximadamente a 100 m aguas abajo de la confluencia con el río Mamacocha
11	CG-LA-11	793782	8281636	Ubicado en el borde este de la laguna Chachas, aproximadamente a 700 m de la descarga.
12	CG-LA-12	793577	8280927	Ubicado en la descarga de la laguna Chachas

Fuente: informe Informe N.º 325-2018-OEFA/DEAM-STEC.

7.5.3. Procesamiento de datos

Las mediciones y descripciones macroscópicas de afloramientos rocosos y depósitos superficiales se realizaron *in situ*, en la cual se tomaron datos de rumbo/azimut, buzamiento y dirección de buzamiento de estratos (EN), fallas geológicas (FA), diaclasas (DI), fracturas (FR), estructuras geológicas (EG: diques, y venillas), estructuras mineralizadas (EM: galerías, vetas y mantos). La descripción macroscópica consistió en determinar la litología, minerales de alteración, minerales primarios, secundarios y accesorios, y minerales con contenido metálico.

Los puntos de control geológico y el mapa de campo fueron georreferenciados y digitalizados en el software ArcGis 10.3 para preparar el mapa geológico local. Además, se generó secciones geológicas a escala 1:10 000, con la finalidad de entender el contexto geológico del subsuelo en zonas aledañas a los componentes mineros proyectados.

El procesamiento de los datos obtenidos de la caracterización geológica se detalla a continuación.



a. Mapa geológico local

La información obtenida del cartografiado fue plasmada en un mapa geológico local, el mismo que contiene las unidades litológicas, litoestratigráficas, estructuras (diaclasas, fracturas, fallas, pliegues, diques, etc.), alteraciones y zonas con mineralización. Se generaron secciones geológicas relacionadas a los componentes del proyecto Laguna Azul y ambientales, adicionalmente, las unidades litológicas fueron descritas de forma detallada. Esta información permitió entender el contexto geológico de superficie y el subsuelo sobre el cual se desarrollarán las actividades energéticas.

b. Relación con áreas de potencial afectación

La caracterización geológica en áreas de potencial afectación permitió conocer la litología del basamento (roca parental), mineralogía, tipos de alteración y depósito cuaternario sobre el cual se desarrolló el suelo.

c. Relación con los puntos de monitoreo de agua superficial y subterránea

La descripción de las unidades geológicas permitió comprender la relación de la mineralogía de las rocas con los parámetros físicos (pH, CE y OD) y químicos de las aguas superficiales (lagunas, ríos, quebradas y manantial). Además, se logró entender el contexto hidrogeológico en función a las estructuras y litopermeabilidad de las rocas.

7.6. Flora silvestre

En los apartados siguientes se muestra la metodología desarrollada para evaluar la flora silvestre comprende el procedimiento para la toma de muestras, la ubicación de los puntos de muestreo, parámetros y métodos de análisis, equipos utilizados, criterios de comparación y procesamiento de datos.

7.6.1. Guías utilizadas para la evaluación

La evaluación de flora silvestre se realizó considerando la metodología de transectos denominado «punto de intersección», establecida en el Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal (Mostacedo y Fredericksen, 2000), debido a que es la más apropiada para evaluar en formaciones vegetales como los presentados en el área de estudio.

Se consideró, además, los lineamientos establecidos en la guía «Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: presentes en la guía de inventario de flora y vegetación del Ministerio del Ambiente». Esta guía establece los criterios técnicos y lineamientos generales, como la logística necesaria, establecimiento de las zonas y sitios de muestreo, preparación de materiales, equipos en indumentaria de protección, procedimiento para la toma y colecta de muestras botánicas, preservación, almacenamiento, conservación y transporte de muestras, entre otras. El detalle de estas guías se presenta en la Tabla 7.24.

**Tabla 7.24.** Guías de muestreo para evaluar de la flora y vegetación

Protocolo	Sección	País	Institución	Dispositivo legal	Año
Guía de inventario de la flora y vegetación del Ministerio del Ambiente	Todo	Perú	MINAM	Resolución Ministerial N° 059-2015-MINAM	2015
Manual de pastos y forrajes altoandinos	Todo	Perú	ITDG-Perú, OIKOS	-	2015
Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal.	Todo	Bolivia	Bolfor	-	2000

De acuerdo a los citados protocolos, para determinar los valores de diversidad, cobertura vegetal y equidad, se establecieron transectos de 50 m en los que se evaluaron 100 puntos. En cada punto se colocará una varilla de 2 mm de diámetro y se tomaron en cuenta las especies que tuvieron contacto con la varilla y el número de veces que estas la toquen (Mostacedo y Fredericksen, 2000). Para cada transecto se registrará datos de pendiente, orientación, ubicación geográfica y altitud.

Se realizaron búsquedas intensivas de especímenes en el área de estudio con el fin de registrar todas las especies presentes. Los procedimientos de recolecta y prensado fueron realizados empleando las metodologías recomendadas por Cerrate (1969). Para cada uno de los especímenes colectados se anotaron la forma de crecimiento que presente (hierba, árbol, arbusto, sufrutice, etc.), según recomienda Whittaker (1975). Cabe señalar que se recolectaron solo los especímenes que se encuentren en estadios de floración y fructificación, aquellos que estuvieron en estadios vegetativo solo fueron registrados.

Las colecciones botánicas «voucher» se realizaron en el caso que exista cualquier incertidumbre para su identificación en campo. Todo individuo colectado tuvo un duplicado además del original, por otro lado, las colecciones repetidas de plantas estériles fueron usadas para distinguir confiablemente las morfo-especies²⁴. La colecta de muestras de las especies vegetales evaluadas se realizó haciendo uso de los siguientes equipos: tijeras botánicas de mano, picos de montaña, palitas de jardinero, wincha métrica, etc.

7.6.2. Ubicación de puntos

Las zonas y sitios de muestreo de flora silvestre (arbórea, arbustiva y herbácea) fueron ubicados considerando la información obtenida en la etapa preliminar de reconocimiento y de los instrumentos de gestión ambiental aprobados para el proyecto Laguna Azul.

Además, las zonas propuestas para la evaluación de flora han sido designadas en relación con los puntos de monitoreo para agua superficial, sedimentos y manantiales; priorizando, según lo verificado en la etapa preliminar de reconocimiento, aquellos sitios que permitan las condiciones de accesibilidad, importancia respecto a posibles zonas que podrían sufrir cambios en el futuro. En la Tabla 7.25 se detalla la ubicación de las zonas y transectos evaluados de flora silvestre.

²⁴ Morfo-especie: Nombre eventual de una especie, basado en caracteres morfológicos.

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad**Tabla 7.25.** Ubicación transectos de muestreo de flora silvestre

Zona	Código Transecto OEFA	Coordenadas UTM - WGS84 Zona 18L Inicial		Coordenadas UTM - WGS84 Zona 18L Final		Formación vegetal	Descripción
		Este (m)	Norte (m)	Este (m)	Norte (m)		
Zona-1	LA-FL-T1	795149	8264912	795188	8264930	Monte ribereño	Ubicado en el borde de la laguna Mamacocha y trocha de acceso. Presencia de especies poco frecuentes (<i>Neoraimondia</i> y <i>Haageocereus</i>).
	LA-FL-T2	795229	8264971	795270	8264952	Matorral desértico	Borde de la laguna Mamacocha (margen derecho), a 40 m de rodal de cactáceas.
	LA-FL-T3	795341	8264902	795360	8264850	Monte ribereño	Borde de la laguna (margen izquierdo), en trocha de acceso.
	LA-FL-T4	795448	8264806	795412	8264842	Matorral desértico	Rodal de cactáceas, a 150 m de borde de la laguna Mamacocha.
	LA-FL-T5	795403	8264713	795383	8264754	Monte ribereño	Borde de la laguna (margen derecho), en trocha inundada con presencia de Sauces.
	LA-FL-T6	795323	8264654	795294	8264679	Monte ribereño	En borde de la laguna (margen izquierdo), en dirección al camino de petroglifos.
	LA-FL-T7	795252	8264715	795224	8264756	Monte ribereño	Entre monte ribereño y suelo pedregoso, margen izquierdo de la laguna en dirección al camino de petroglifos.
	LA-FL-T8	795209	8264690	795167	8264717	Matorral desértico	Sobre camino a petroglifos (margen izquierdo de laguna Mamacocha)
Zona-2	LA-FL-T10	794905	8263547	794891	8263511	Monte ribereño	En el borde río Mamacocha, a 500 m de las cataratas.
	LA-FL-T11	794919	8263196	794947	8263165	Matorral desértico	Rodal de cactáceas, entre cataratas y embalse del río Mamacocha.
	LA-FL-T12	795353	8264058	795339	8264419	Monte ribereño	Alrededores de «Los limones».
Zona-3	LA-FL-T13	796405	8261045	796371	8261079	Monte ribereño	En Tingo, a 50 m del encuentro de los ríos Colca y Mamacocha, entre monte ribereño y suelo pedregoso del río Mamacocha.
	LA-FL-T14	796260	8261170	796325	8261150	Monte ribereño	En Tingo, a 200 m de encuentro de los ríos Colca y Mamacocha.



7.6.3. Parámetros y métodos de análisis

Los parámetros para evaluar en el componente flora se listan en la Tabla 7.26, los cuales se detallan en relación con su distribución en las zonas de evaluación previstas. Los resultados de la determinación taxonómica de las especies registradas y la sistematización de resultados se detallan en el Anexo 5.

Tabla 7.26. Parámetros evaluados

N.º	Parámetro	Cantidad de zonas y sitios*	Observaciones
1	Composición de especies	3 zonas (recarga, media y descarga).	<ul style="list-style-type: none"> - La cantidad de sitios por zona (transectos, parcelas y colectas generales) se definirán en la ejecución de la evaluación - Todos los parámetros serán aplicados para la evaluación de flora silvestre
2	Riqueza de especies		
3	Abundancia		
4	Índices de diversidad (H', 1-D, Morisita)		

7.6.4. Equipos utilizados

Para el muestreo de flora silvestre se utilizó principalmente cámaras fotográficas y equipos de posicionamiento global (GPS). El detalle de los equipos y otros materiales utilizados durante la evaluación de flora silvestre se encuentra en el Anexo 3 (Reporte de campo N.º219-2019-SSIM).

7.6.5. Criterios de comparación

Los resultados de la evaluación de la flora silvestre fueron comparados con estudios científicos de flora en ambientes y situaciones similares, teniendo en cuenta la posible variación de la estructura y composición de las especies vegetales antes y después de la implementación de los diferentes componentes del proyecto Laguna Azul.

Asimismo, se realizó la identificación de especies protegidas sobre la base de la última recategorización de flora silvestre para el Perú, realizada por el Instituto Nacional de Recursos Naturales (Decreto Supremo N.º 043-2006-AG). Adicionalmente, se tomó en cuenta la Resolución Ministerial N.º 505-2016-MINAGRI, que aprueba la «Lista de clasificación oficial de especies de flora silvestre categorizadas como amenazadas»; considerando que en esta clasificación se incrementa la cantidad de especies a proteger y presenta modificaciones en las categorías para ciertas especies.

Se tomaron en cuenta, además, las categorías determinadas por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (*International Union for Conservation of Nature*, denominado como IUCN por sus siglas en inglés) para la clasificación de especies sobre la base de criterios que determinan su estatus de conservación. Estas categorías son: extinto (EX), extinto en estado silvestre (EW), en peligro crítico (CR), en peligro (EN), vulnerable (VU), casi amenazado (NT), preocupación menor (LC), menor riesgo o casi amenazado (LR), datos insuficientes (DD) y no evaluado (NE). Las especies listadas en las categorías CR, EN y VU se consideran «amenazadas».



Finalmente, el registro de especies identificadas se comparó con la lista de especies que está incluida en los apéndices de la convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Flora y Fauna Silvestres (CITES, 2017).

7.6.6. Procesamiento de datos

En esta sección se presenta el procesamiento de datos de la evaluación de flora, el cual consistirá en la cuantificación de la información obtenida en la determinación de especies en el área de estudio mediante el cálculo de los parámetros detallados en la Tabla 7.27.

Tabla 7.27. Cálculos estadísticos realizados

N.º	Cálculos a realizar	Observaciones
1	Diversidad florística	
2	Composición florística	- Sistema de Clasificación taxonómica - APG IV (2016)
3	Riqueza de especies	- Claves taxonómicas: Gentry, 1993; Vasquez, 1997 - Spichiger <i>et al.</i> , 1989, Reynel <i>et al.</i> , 2003; Vasquez y Rojas, 2004
4	Abundancia	- Comparación con muestras exicatas del Herbario Vargas CUZ - Revisión de actualizaciones taxonómicas: <i>Missouri Botanical Garden</i> ²⁵ y el <i>Field Museum of Chicago</i> ²⁶
5	Densidad	- Índice de Shannon Wiener (H')
6	Similitud florística	- Índice de Simpson (1-D) - Índice de Morisita

La información obtenida de los muestreos de campo fue analizada posteriormente de acuerdo con los métodos cuantitativos y cualitativos usados para las evaluaciones ecológicas.

Los índices de diversidad, riqueza y equidad fueron obtenidos mediante el programa PAST (Versión 1.7).

a. Determinación de especies

Las muestras colectadas fueron analizadas en las instalaciones del Herbario HOXA - Oxapampa²⁷ y Laboratorio de Florística del Museo de Historia Natural, mediante el uso claves especializadas como la de Macbride *et al.* (1936 y siguientes); Ferreyra (1944 y 1946); Molau (1990); Sagástegui y Leiva (1993); Tovar (1993); entre otros.

Las determinaciones fueron corroboradas cuando fue necesario, por consulta a especialistas y/o comparación con muestras del Herbario San Marcos (UNMSM) y base de datos de herbarios virtuales como las del Missouri Botanical Garden (MO) y Field Museum Herbarium (F).

Para el ordenamiento de especies de angiospermas se utilizó el Sistema de Clasificación del Angiosperm Phylogeny Group IV (APG IV) y para los pteridofitos y afines el Sistema de Clasificación propuesto por Smith *et al.* (2016).

²⁵ Disponible en <http://mobot.mobot.org/W3T/Search/spdp.html>

²⁶ Disponible en <http://fm1.fieldmuseum.org/vrrc/>

²⁷ Herbario HOXA, forma parte del Jardín Botánico de Missouri (Missouri Botanical Garden)

**b. Delimitación de las formaciones vegetales**

Para la identificación de las formaciones vegetales presente en el área de estudio, se tomaron en cuenta la fisionomía de las plantas, la cual tomó en cuenta las formas de vida que predominan o son más conspicuas en las comunidades (Weberbauer, 1945).

c. Riqueza de especies (d)

Representa el número de especies en una unidad muestral, un número específico de individuos, área o biomasa. Si es expresada por unidad de área, es conocida como la densidad de la especie. La riqueza de especies se calculará con la siguiente fórmula:

$$d = (S - 1) / \log N \quad (7.10)$$

Dónde:

d = riqueza de especies o número de especies

S = número de especies presentes.

N = número total de individuos presentes

d. Índice de Shannon-Wiener (H)

El índice de Shannon-Wiener, también conocido como función Shannon-Wiener, mide la diversidad de especies mediante el uso de la «Teoría de la Información» (Shannon, 1948). Se emplea como indicador del comportamiento del ecosistema o la organización a la que ha llegado el ecosistema, también mide las perturbaciones o desorganización del mismo ecosistema.

La diversidad específica de una comunidad depende del número de especies, que se puede llamar riqueza y la abundancia relativa de las especies, llamada generalmente equidad. El índice será calculado con la siguiente fórmula:

$$H = - \sum p_i \log^2 p_i \quad (7.11)$$

Dónde:

H = diversidad (bits/individuo).

$p_i = n_i / N$ = frecuencia de ocurrencia de la especie i

$N = \sum n_i$ = número total de individuos registrados en el transecto

e. Índice de dominancia de Simpson (1-D)

Utilizado para hallar la diversidad de las especies. Muestra la probabilidad de que dos individuos dentro de una comunidad sean de la misma especie al ser tomados al azar. El índice será calculado con la siguiente fórmula:

$$D = 1 - \sum_{i=1}^s (p_i)^2 \quad (7.12)$$

Dónde:

D = Índice de diversidad de Simpson.

p_i = Proporción de individuos del taxón "i" en la comunidad

s = El número total de especies.



El índice de Simpson da menor peso a especies raras y mayor peso a especies más comunes. El rango de valores rige desde 0 (baja diversidad) a un máximo de 1-1/s.

f. Equidad (E)

Mide la tendencia de las especies a presentarse de manera igualmente frecuente. Una alta equidad ocurre cuando las especies son igualmente frecuentes en la comunidad (Odum, 1972). De modo contrario, la dominancia implica que unas cuantas especies (o una sola especie) presentan un mayor número de individuos, mientras que la mayoría de las especies presentan bajo número de individuo.

La riqueza (d) y el índice de Shannon-Wiener (H') nos permiten calcular la medida de uniformidad E, expresada como la relación entre diversidad observada (H') y diversidad máxima (log₂ d). La fórmula que se utilizará es:

$$E = \frac{H}{H_{max}} = \frac{H}{\log_2 d} \quad (7.13)$$

g. Índice de similaridad de Morisita

Los coeficientes de similaridad han sido utilizados especialmente para comparar comunidades con atributos similares. Los índices de similaridad pueden ser calculados en base a datos cualitativos (presencia/ausencia) o cuantitativos (abundancia) (Mostacedo y Fredericksen, 2000).

El índice de Similaridad de Jaccard expresa la semejanza entre 2 muestras solo considerando la riqueza de especies. Relaciona el número de especies compartidas con el número total de especies exclusivas. La expresión que se utilizará es:

$$I_j = \frac{c}{a+b-c} \quad (7.14)$$

Dónde:

a = número de especies presentes en el sitio A;

b = número de especies presentes en el sitio B;

c = número de especies presentes en ambos sitios A y B.

El intervalo de valores para este índice va de 0 cuando no hay especies compartidas entre ambos sitios, hasta 1 cuando los dos sitios tienen la misma composición de especies.

h. Cobertura vegetal

La cobertura de una especie es la proporción del terreno ocupado por la proyección perpendicular de las partes aéreas de los individuos de la especie considerada y sirve para determinar la dominancia de las especies (Matteucci y Colma 1982). La expresión que se utilizará es:

$$Cobertura\ vegetal = \frac{N^{\circ}\ toques\ por\ especie}{N^{\circ}\ toques\ totales} \times 100 \quad (7.15)$$



i. Curva de acumulación de especies

Una curva de acumulación de especies representa gráficamente la forma como las especies van apareciendo en las unidades de muestreo, o de acuerdo con el incremento en el número de individuos. En la gráfica de curvas de acumulación, el eje Y es definido por el número de especies acumuladas y el X por el número de unidades de muestreo o el incremento del número de individuos. Cuando la curva de acumulación es asintótica indica que, aunque se aumente el número de unidades de muestreo o de individuos censados, es decir, aumente el esfuerzo, no se incrementará el número de especies, por lo que tenemos un buen muestreo (Villarreal *et al.*, 2006).

Se realizó la curva de acumulación de especies para determinar la eficiencia de muestreo y el cálculo de especies potenciales en el área de estudio, para ello se utilizó el modelo paramétrico asintótico exponencial negativo (Díaz-Francés y Soberón, 2005).

$$S_n = (a[1 - \exp(-b \times n)])/b \quad (7.16)$$

Donde:

- a: tasa de incremento de nuevas especies al comienzo del inventario
- b: parámetro relacionado con la forma de la curva
- n: unidades de fuerza de muestreo

Conforme la lista de especies aumenta, la probabilidad de añadir una especie nueva a la lista disminuye de forma exponencial. Esta curva se utiliza cuando la región donde se hace el muestreo es grande o los taxa son poco conocidos, de forma que la probabilidad de encontrar una nueva especie nunca será cero (Soberón y Llorente, 1993).

El modelo se ajustará a una regresión no lineal con dos parámetros, usando el algoritmo Quasi-Newton. Se utilizaron los programas EstimateS Win 8.20 y Statistica 7.

j. Análisis multivariado

Los datos de flora serán procesados mediante análisis multivariado (AM), de manera más precisa, con el análisis de correspondencia y los dendrogramas (cluster). El análisis multivariado estudia, analiza, representa e interpreta los datos que resultan de observar más de una variable estadística sobre una muestra de individuos. En este tipo de análisis, las variables observables son homogéneas y correlacionadas, sin que alguna predomine sobre las demás. La información estadística en el análisis multivariado es de carácter multidimensional, por lo tanto, la geometría, el cálculo matricial y las distribuciones multivariantes juegan un papel fundamental (Cuadras, 2014), entre ellas.

7.7. Fauna silvestre

En los apartados siguientes se muestra la metodología desarrollada para evaluar la fauna silvestre (aves, anfibios, reptiles y mamíferos silvestres) comprende el procedimiento para la toma de muestras, la ubicación de los puntos de muestreo, parámetros y métodos de análisis, equipos utilizados, criterios de comparación y procesamiento de datos.



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

7.7.1. Guías utilizadas para la evaluación

Los documentos usados como guía y manual para la evaluación de anfibios, reptiles, aves y mamíferos dentro del área de influencia del proyecto Laguna Azul se detallan en la Tabla 7.28.

Tabla 7.28. Guías de muestreo para la evaluación de fauna silvestre

Grupo taxonómico	Referencia	Sección	País	Institución	Dispositivo legal o autores	Año
Anfibios y Reptiles	Guía de inventario de la fauna silvestre	Capítulo 5	Perú	Minam	R.M. N° 057-2015-MINAM	2015
	Técnicas de inventario y monitoreo para los anfibios de la región tropical andina.	Todas	Sudamérica	Conservación Internacional	Angulo <i>et al.</i>	2006
Aves	Guía de inventario de la fauna silvestre	Capítulo 6	Perú	Minam	R.M. N° 057-2015-MINAM	2015
	Manual de métodos de campo para el inventario de aves terrestres	Todas	EE. UU.	Pacific Southwest Research Station	Ralph, J; Geupel, G; Pyle, P; Martin, T, DeSante, D y Milá, B.	1996
Mamíferos	Guía de inventario de fauna silvestre del Ministerio del Ambiente	Capítulo 4	Perú	MINAM	R.M. N° 057-2015-MINAM	2015

7.7.2. Ubicación de puntos

Las zonas y sitios de muestreo de fauna silvestre (aves, anfibios, reptiles y mamíferos silvestres) fueron ubicados considerando la información obtenida en la etapa preliminar de reconocimiento y de los instrumentos de gestión ambiental aprobados para el proyecto Laguna Azul.

Además, las zonas propuestas para la evaluación de fauna han sido designadas en relación con los puntos de monitoreo para agua superficial, sedimentos y manantiales; comunidades hidrobiológicas priorizando, según lo verificado en la etapa preliminar de reconocimiento, aquellos sitios que permitan las condiciones de accesibilidad, importancia respecto a posibles zonas que podrían sufrir cambios en el futuro. En la Tabla 7.29 se detalla la ubicación de las zonas y transectos evaluados de flora silvestre.



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

7.6.2.1 Anfibios y reptiles

Durante la ejecución en mayo de 2019 se realizaron un total de 16 búsquedas por encuentro visual (VES), las cuales se distribuyeron en las 3 zonas de evaluación. Las coordenadas de ubicación y descripción de los VES se presentan en la tabla 7.29

Tabla 7.29. Ubicación de las búsquedas por encuentro visual (VES) para la evaluación de los anfibios y reptiles

Zona	Ecosistema Frágil (EF)	Cantidad VES	Código VES OEFA	Fecha	Coordenada UTM - WGS 84 Zona 18 L Inicial		Coordenada UTM - WGS 84 Zona 18 L Final		Hora Inicio	Hora Final	Formación vegetal	Descripción
					Este (m)	Norte (m)	Este (m)	Norte (m)				
Zona-1	EF1 (laguna Mamacocha)	4	LA-HE-V1	2/05/2019	795381	8264798	795362	8264891	10:32	11:02	Monte ribereño (laguna Mamacocha)	Vegetación ribereña, con presencia de arbustos de gran tamaño en todo el borde de la laguna Mamacocha, rodeada de áreas con cactáceas columnares.
			LA-HE-V2	2/05/2019	795314	8264911	795228	8264937	11:29	11:59		
			LA-HE-V3	2/05/2019	795118	8264893	795159	8264816	12:51	13:21		
			LA-HE-V4	2/05/2019	795202	8264764	795295	8264671	13:36	14:06		
	-	6	LA-HE-V5	2/05/2019	795494	8264595	795492	8264488	15:03	15:33	Matorral desértico	Vegetación ribereña a lo largo del río Mamacocha, con pendiente pronunciada. Cactáceas columnares dispersas en áreas sin vegetación y rocas de diferentes tamaños Área sin vegetación con presencia de cactáceas columnares, arbustos en parches dispersos y rocas de diferentes tamaños Vegetación ribereña a lo largo del río Mamacocha, con pendiente pronunciada. Cactáceas columnares dispersas en áreas sin vegetación y rocas de diferentes tamaños
			LA-HE-V6	2/05/2019	795428	8264380	795416	8264286	15:48	16:18		
			LA-HE-V7	3/05/2019	795313	8264998	795215	8265045	09:49	10:19		
			LA-HE-V8	3/05/2019	795095	8264994	795055	8265081	10:51	11:21		
			LA-HE-V9	3/05/2019	795118	8265183	795222	8265182	11:55	12:25		
			LA-HE-V10	3/05/2019	795398	8264206	795396	8264101	14:47	15:17		
Zona-2	-	4	LA-HE-V11	5/05/2019	794898	8263530	794889	8263445	10:25	10:55	Matorral desértico	Vegetación ribereña a lo largo del río Mamacocha, con pendiente pronunciada. Cactáceas columnares dispersas en áreas sin vegetación y rocas de diferentes tamaños
			LA-HE-V12	5/05/2019	794937	8263393	794931	8263304	11:32	12:02		
			LA-HE-V13	5/05/2019	795024	8263606	795114	8263677	12:45	13:15		
			LA-HE-V14	5/05/2019	795212	8263717	795239	8263826	13:22	13:52		
Zona-3	-	2	LA-HE-V15	6/05/2019	796452	8260995	796372	8261088	11:36	12:06	Matorral desértico	Vegetación ribereña en el cruce de los ríos Mamacocha y Colca, con pendiente pronunciada y accidentada.
			LA-HE-V16	6/05/2019	796265	8261147	796340	8261144	12:29	12:59		



PERÚ

Ministerio
del AmbienteOrganismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFASSIM: Subdirección de Sitios
ImpactadosDecenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad**7.6.2.2 Aves**

Durante la ejecución en mayo 2019 se evaluaron 3 zonas. En estas zonas se realizaron en total 12 puntos de evaluación (búsquedas intensivas) y 3 redes niebla. Las coordenadas de ubicación de los puntos de evaluación se encuentran en la Tabla 7.30.

Tabla 7.30. Ubicación de las búsquedas intensivas para la evaluación de las aves

Zona	Ecosistema Frágil (EF)	Código Unidades Evaluadas	Fecha	Hora Inicio	Hora final	Coordenadas UTM -WGS84 Zona 18L		Formación vegetal	Descripción	
						Este (m)	Norte (m)			
Búsquedas intensivas										
Zona 1		LA-Av-01	02/05/2019	10:33	10:43	795422	8264647	Matorral desértico	Zona de borde de quebrada de pendiente leve, con presencia de árboles pequeños como molle, con presencia en algunos bordes de carrizo y zonas inundables, con presencia de zonas inundables.	
			02/05/2019	10:46	10:56	795475	8264594			
			02/05/2019	10:58	11:08	795503	8264520			
			02/05/2019	11:10	11:20	795442	8264415			
			02/05/2019	11:20	11:30	795429	8264349			
		LA-Av-02	02/05/2019	11:37	11:47	795437	8264298			
			02/05/2019	11:53	12:03	795584	8264509			
			02/05/2019	12:08	12:18	795526	8264624			
			02/05/2019	12:21	12:31	795454	8264794			
			02/05/2019	12:32	12:42	795417	8264831			
		LA-Av-03	02/05/2019	12:47	12:57	795435	8264905			
			02/05/2019	12:58	13:08	795358	8265028			
			02/05/2019	13:08	13:18	795207	8265033			
			02/05/2019	13:18	13:28	795012	8265049			
			02/05/2019	13:31	13:41	795091	8265139			
	02/05/2019		13:45	13:55	795163	8265184				
	02/05/2019		15:11	15:21	795376	8264640				
	EF1	LA-Av-04	02/05/2019	15:24	15:34	795317	8264663	Monte ribereño (Laguna Mamacocha)	Zona de borde de laguna de pendiente leve, cubierto en su mayoría por carrizo, rocas y piedras de gran tamaño.	
			02/05/2019	15:35	15:45	795246	8264708			
			02/05/2019	15:46	15:56	795224	8264757			
			02/05/2019	15:58	16:08	795193	8264807			
			03/05/2019	10:40	10:50	795406	8264707			
		LA-Av-05	03/05/2019	10:58	11:08	795388	8264760			Zona de borde de río de pendiente leve, con áreas de arbustos densos enmarañados, con pequeñas zonas inundables.
			03/05/2019	11:11	11:21	795367	8264822			
			03/05/2019	11:24	11:34	795367	8264847			
			03/05/2019	11:47	11:57	795347	8264874			
		LA-Av-06	03/05/2019	11:58	12:08	795340	8264896			Borde de laguna de pendiente leve, con presencia de árboles pequeños y arbustos enmarañados.
03/05/2019			12:09	12:19	795306	8264908				
03/05/2019			12:20	12:30	795243	8264927				
03/05/2019	12:31		12:41	795198	8264925					
03/05/2019	12:41		12:51	795170	8264926					
LA-Av-07	03/05/2019	12:52	13:02	795156	8264908					
		LA-Av-07	03/05/2019	15:19	15:29	795172	8264810			



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA

SSIM: Subdirección de Sitios Impactados

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

Zona	Ecosistema Frágil (EF)	Código Unidades Evaluadas	Fecha	Hora Inicio	Hora final	Coordenadas UTM -WGS84 Zona 18L		Formación vegetal	Descripción
						Este (m)	Norte (m)		
Zona 2	-	LA-Av-08	03/05/2019	15:30	15:40	795134	8264857	Matorral desértico	Zona de borde de río de pendiente leve, con presencia de abundantes piedras y rocas de gran tamaño, con pequeños arbustos en la base de la laguna.
			03/05/2019	15:41	15:51	795100	8264924		
			03/05/2019	15:52	16:02	795076	8264938		
			05/05/2019	10:45	10:55	795049	8263031		Zona de roquedal denso, con rocas de diverso tamaño cercano a la línea de borde de la quebrada del río Mamacocha, presencia de carrizo.
			05/05/2019	10:57	11:07	794990	8263118		
			05/05/2019	11:08	11:18	794904	8263199		
		05/05/2019	11:19	11:29	794895	8263393			
		05/05/2019	11:30	11:40	794886	8263497			
		05/05/2019	12:16	12:26	795003	8263570			
		LA-Av-09	05/05/2019	12:26	12:36	795087	8263684		Zona de cactáceas de pendiente leve, con presencia de rocas y piedras de gran tamaño, con pequeñas zonas de deslizamiento de tierra.
			05/05/2019	12:37	12:47	795198	8263811		
			05/05/2019	12:48	12:58	795245	8263906		
			05/05/2019	13:02	13:12	795310	8263946		
05/05/2019	13:16		13:26	795370	8264011				
LA-Av-10	05/05/2019	13:45	13:55	795357	8264062	Zona de matorral denso de pendiente moderada, con presencia de árboles pequeños como molle o limón, presencia de arbustos densos, helechos y borde con caída de aguas.			
Zona 3	-	LA-Av-11	06/05/2019	11:30	11:40	796455	8260976	Matorral desértico	Zona de borde de río de pendiente leve, con presencia de abundantes rocas y piedras de diferentes tamaños, con bordes de carrizo y geografía accidentada.
			06/05/2019	11:48	11:58	796367	8261099		
			06/05/2019	12:05	12:15	796307	8261157		
			06/05/2019	12:20	12:30	796261	8261115		
		LA-Av-12	06/05/2019	13:10	13:40	796425	8260851		Zona de borde de río de pendiente leve, con presencia de rocas y piedras de diferente tamaño en los bordes, con pequeñas playas que permiten el desplazamiento en la zona.
Redes niebla									
Zona 1	1	RED 01	03/05/2019	9:58	18:00	795436	8264622	Monte ribereño	Red ubicada en la zona de matorral ribereño. Zona de pendiente leve con presencia de árboles pequeños, piedras y rocas de diferente tamaño.
		RED 02		10:15	18:00	795406	8264632		
		RED 03		10:23	18:00	795361	8264639		

**7.6.2.3 Mamíferos**

Durante la ejecución en mayo 2019 se evaluaron 3 zonas. En estas zonas se realizaron en total 4 transectos lineales de diferentes longitudes, los puntos de evaluación se encuentran en la Tabla 7.31.

Tabla 7.31. Ubicación de transectos lineales para la evaluación de mamíferos

Zona	Descripción	Formación vegetal	UBICACIÓN DE TRANSECTOS							
			EF	Cantidad	Long. Total, aproximada (km)	Código	UTM - WGS84		UTM - WGS84	
							Zona 18L		Zona 18L	
							Coordenada inicial		Coordenada final	
Este (m)	Norte (m)	Este (m)	Norte (m)							
Zona-1	Ubicado en monte ribereño de laguna Mamacochoa en su margen izquierda	Monte ribereño (laguna Mamacochoa) y matorral desértico	Ecosistema Frágil (EF)	2	1	LA-Ma1	795404	8264718	795390	8264796
	1				LA-Ma2	795358	8264641	795115	8264730	
Zona-2	Ubicado en el margen izquierdo de río Mamacochoa entre formación de roquedal y vegetación de matorral desértico siguiendo paralelo al curso del río.	Matorral desértico y canto rodado	-	1	2,3	LA-Ma3	795503	8264574	795016	8263069
Zona-3	Ubicado entre el margen derecho del río Colca y la confluencia con el río Mamacochoa en canto rodado.		-	1	1	LA-Ma4	796091	8260464	796506	8260912

Además, se instalaron 10 cámaras trampa, las coordenadas de ubicación se muestran en la Tabla 7.32

**PERÚ**Ministerio
del AmbienteOrganismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFASSIM: Subdirección de Sitios
ImpactadosDecenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad**Tabla 7.32.** Ubicación de cámaras trampa

Zona	EF	Código	Coordenadas UTM - WGS84 Zona 18L		Altitud (m s. n. m.)	Descripción
			Este (m)	Norte (m)		
Zona-1	EF1 (Laguna Mamacocha)	LA-CT1	795255	8264730	1695	Ubicado en orilla del margen derecho de laguna Mamacocha sujeta a árbol de Sauce.
		LA-CT2	795350	8264879	1698	Ubicado en orilla del margen izquierdo de laguna Mamacocha entre vegetación circundante ribereña
		LA-CT3	795193	8264807	1706	Ubicado en orilla del margen derecho de laguna Mamacocha entre vegetación ribereña comúnmente llamado carrizo y entre rodal de rocas.
		LA-CT4	795479	8264484	1679	Ubicado a orilla del margen izquierdo de río Mamacocha a unos 4 m aproximadamente y 100 m de distancia de la laguna, sujeta entre vegetación de carrizo.
Zona-2	-	LA-CT5	795071	8263009	1447	Ubicado a orilla del margen izquierdo de río Mamacocha en rodal de piedras a 2 m aproximadamente de su cauce y tomando como referencia tronco seco sumergido.
		LA-CT6	794890	8263420	1499	Ubicado a orilla del margen izquierdo de río Mamacocha a 6 m aproximadamente entre vegetación típica desértica como cactáceas.
		LA-CT7	795458	8264054	1632	Ubicado en margen izquierdo de río Mamacocha, cerca de chacra denominada Limón por presentar cultivo de esta fruta, entre vegetación típica desértica y roquedal.
Zona-3	-	LA-CT8	796511	8260874	1333	Ubicado en margen izquierdo de río Colca frente a la confluencia con el río Mamacocha y puente de acceso.
		LA-CT9	796317	8261161	1384	Ubicado en margen derecho de río Mamacocha, en borde de río dominado por vegetación denominada carrizo.
		LA-CT10	795472	8261017	1530	Ubicado en margen derecho de río Mamacocha en parte alta de hábitat desértico, dominada por vegetación de cactáceas y a 200 m de carretera principal.



7.7.3. Parámetros y métodos de análisis

En esta sección se detallan los parámetros analizados y las metodologías empleadas para el análisis de los datos según la metodología aplicada. Los resultados de la determinación taxonómica de las especies registradas y la sistematización de resultados se encuentran en el Anexo 5.

7.7.3.1 Anfibios y reptiles

Para la evaluación de las anfibios y reptiles se utilizaron las metodologías de búsqueda por encuentro visual o «*Visual Encounter Survey*» (VES por sus siglas en inglés) (Crump y Scott, 1994) y registros oportunistas (Minam, 2015). A continuación, se detallan cada una de ellas.

a) Búsqueda por encuentro visual o «*Visual Encounter Survey*» (VES)

Es la metodología más utilizada en las diversas evaluaciones herpetológicas (Crump y Scott, 1994). El VES consiste en la búsqueda intensiva de anfibios y reptiles a través de caminatas aleatorias en una determinada zona, por un tiempo determinado (30 minutos), registrando tanto sobre el sustrato, como entre la vegetación, y revisando potenciales lugares de refugio para anfibios y reptiles como, áreas debajo de rocas, piedras y/o vegetación (Angulo *et al.*, 2006). Cada VES debe estar distanciado como mínimo 50 m uno del otro. Los resultados obtenidos mediante esta metodología permiten calcular la riqueza y abundancia relativa de los organismos evaluados.

Para cada VES se tomaron los siguientes datos de campo: hora de inicio y fin de cada evaluación con sus respectivas coordenadas UTM y elevación con respecto al nivel del mar. Para cada individuo se registró la hora de avistamiento, edad (juvenil/adulto), sexo, actividad (a) termorregulando, (b) alimentándose, (c) en interacciones sociales), microhábitat, estado reproductivo, condición climática ((a) nublado, (b) seminublado, (c) despejado, (d) llovizna); y condición física: peso, tamaño (longitud total: cuerpo y cola).

b) Registros oportunistas

Son observaciones de especímenes que son registrados fuera de las unidades de muestreo como VES (registros de otros especialistas, animales muertos, entre otras). Estos registros contribuyen al conocimiento sobre la ocurrencia de anfibios y reptiles en el área de influencia del proyecto; sin embargo, y a pesar de que frecuentemente producen valiosos registros por localidad, su aporte no fue considerado para los índices de diversidad (Manzanilla y Péfaur, 2000).

Para la determinación taxonómica de las especies de anfibios y reptiles registrados y/o colectados durante las evaluaciones, se utilizaron claves taxonómicas especializadas (Peters y Donoso-Barros, 1979; Rodríguez *et al.*, 1993), descripciones científicas, bases de datos internacionales, así como colecciones científicas de referencia (Departamento de Herpetología del Museo de Historia Natural de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos).

7.7.3.2 Aves

Para la evaluación de las aves se utilizó como metodología principal el censo de búsqueda intensiva (BI), y como metodologías complementarias, la fotografía, el playback y redes niebla. A continuación, se describen cada una de ellas.



a) Censos por búsqueda intensiva (BI)

Para la evaluación cuantitativa de las aves se utilizó el método de búsquedas intensivas (Ralph *et al.*, 1996, Bibby *et al.*, 1998, Franke *et al.*, 2017). Las búsquedas intensivas se realizaron a lo largo de las 2 formaciones vegetales registradas en la zona de estudio: matorral desértico y monte ribereño.

Este método consistió en recorrer el área estudiada en busca de aves siguiendo una ruta libre a criterio del evaluador. Las búsquedas tuvieron una duración de 10 minutos y el área de búsqueda fue variable, dependiendo del tamaño de los hábitats, teniendo un límite de detección de 50 m de radio. En cada búsqueda se registró a las especies mediante escaneos visuales y auditivos, anotando el número de individuos por especie y algunas observaciones ecológicas (hábitat y registros reproductivos).

La evaluación se inició en horas de la mañana (8:00 am a 12:00 pm) y en horas de la tarde (14:00 pm a 16:00 pm). Para cada lista de aves se tomaron los siguientes datos: fecha, hora de inicio, hora final y coordenadas geográficas.

Para la visualización de las especies se emplearon binoculares NIKON 10 x 42 y éstas se determinaron usando la guía de campo aves de Perú (Schulenberg *et al.*, 2010). El listado de las aves sigue la clasificación taxonómica de Plenge (2019), además durante los recorridos en las búsquedas intensivas, se utilizó una cámara fotográfica profesional para tener evidencias fotográficas de las especies registradas en los recorridos realizados.

b) Técnicas de Fotografía

Son utilizadas para ilustrar y confirmar con mayor certeza el registro de algunas especies bastantes crípticas, muy esquivas y difícil de observar. Se usó las técnicas de fotografía cuando se observaba un ave a distancia cercana en los recorridos realizados, se fotografiaba si se encontraba dentro de un rango de alcance de un lente teleobjetivo de 250 mm, para lo cual se utilizó una cámara EOS MARK II.

c) Redes niebla

Para completar el inventario de aves se realizaron capturas con redes niebla. Se utilizaron un total de 3 redes de niebla (12 m x 2,8 m, malla de 36 mm), las cuales fueron colocadas en lugares donde se observen una gran diversidad de aves como por ejemplo transiciones de bosques, bordes de lagunas, matorrales, laderas, o ecotonos.

Las redes permanecieron abiertas desde las 6:00 am hasta las 5:00 pm, siendo revisadas en un primer momento cada 30 minutos, este tiempo varió de acuerdo con el número de capturas de estas (Ralph *et al.*, 1996).

Las aves capturadas fueron identificadas, fotografiadas y liberadas en el más corto plazo posible. La información que se registra antes de la liberación de la especie consiste en anotar el nombre de la especie, código de la red, hábitat, peso, presencia del parche de incubación, muda, sexo (en especies con dimorfismo sexual) y condición general. (Franke *et al.*, 2014).

7.7.3.2 Mamíferos

Para la evaluación de mamíferos silvestres se utilizaron censos por transectos y cámaras trampa. A continuación, se describen cada una de ellas.



a) Censos por transectos

Para evaluar la diversidad y abundancia de las especies de hábitos terrestres que habitan en el área de estudio se usó el método de censos por transecto (Burnham *et al.*; 1980; Aquino *et al.*; 2001), el cual es usado en evaluaciones de la fauna silvestre con poca cobertura.

Los censos de fauna silvestre se realizaron en base a observaciones directas y vocalizaciones, así como observaciones indirectas a través de los rastros (huellas, madrigueras, caminos, despojos, heces, cerdas, emanación de sustancias odoríferas, etc.).

El censo consistió en recorrer los transectos a una velocidad promedio de 1.0 km/hora con paradas cada 300 metros por uno a dos minutos con la finalidad de observar los detenidamente y poder detectar algún movimiento. Cada vez que existía un encuentro directo se procedió a anotar en la libreta de campo la hora, especie, número de individuos (cuando se trataba de grupos), tipo de hábitat, actividad al momento de la detección y composición florística dominante. Los censos también incluyeron observaciones indirectas que consistió en el registro de rastros anotando el tipo (huella, camino, madriguera, etc.), lugar, género y la especie (cuando fue posible su identificación). Estas evidencias fueron fotografiadas.

Finalmente, afín de complementar la información para la lista base de especies que habitan en el área de estudio se realizaron entrevistas no estructuradas a los asistentes locales.

b) Cámaras trampa

Las cámaras trampa son herramientas útiles para el muestreo y monitoreo de poblaciones de especies de carácter críptico o raras, debido a que permiten ampliar nuestras observaciones de las especies en el tiempo y el espacio sin interferir con su conducta, generando así información muy valiosa sobre la biología y ecología de las especies, que de otra manera sería más difícil de obtener si se utilizaran métodos tradicionales. (Chávez *et al.*, 2013), actualmente esta metodología es utilizada para realizar inventarios, detectar presencia o ausencia de animales, nos permite estimar la diversidad, abundancia y densidad en diferentes paisajes (Díaz-Pulido y Payán Garrido, 2012)

En la presente investigación utilizamos cámaras trampa marca Bushnell modelo Aggressor HD con sensores de movimiento y termodetección, en cada cámara se colocó una tarjeta de memoria de 32 GB y la energía lo proporcionan ocho pilas alcalinas AA.

Tabla 7.33. Parámetros y cantidad de zonas de evaluación considerados para el estudio

N.º	Parámetros	Cantidad de zonas de evaluación	Hábitats	
1	Composición de especies	3 zonas de muestreo	Bosque montano, bosque ribereño, áreas intervenidas	
2	Riqueza de especies			
3	Abundancia			
4	Índices de diversidad (alfa y beta)			Índice de Shannon - Wiener (H')
5				Índice de Simpson (1-D)
6				Índice de Morisita
7	Índice de Boddicker			

7.7.4. Equipos utilizados

Para el muestreo de fauna silvestre (anfibios, reptiles, aves y mamíferos) se utilizaron principalmente cámaras fotográficas y equipos de posicionamiento global-GPS; y para el



caso específico de mamíferos se utilizaron cámaras trampas para la identificación de especies representativas. El detalle de los equipos y otros materiales utilizados durante la evaluación de fauna silvestre se encuentra en el Anexo 3 (Reporte de campo 219-2019-SSIM).

7.7.5. Criterios de comparación

Se realizó la identificación de especies protegidas sobre la base de la última actualización de la lista de clasificación y categorización de las especies amenazadas de fauna silvestre legalmente protegidas (Decreto Supremo N.º 004-2014-MINAGRI).

Además, se tomó en cuenta las categorías determinadas por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN) para la clasificación de especies sobre la base de criterios que determinan su estatus de conservación. Estas categorías son: extinto (EX), extinto en estado silvestre (EW), en peligro crítico (CR), en peligro (EN), vulnerable (VU), casi amenazado (NT), preocupación menor (LC), menor riesgo o casi amenazado (LR), datos insuficientes (DD) y no evaluado (NE). Las especies listadas en las categorías CR, EN y VU fueron consideradas como «amenazadas».

Finalmente, el registro de especies identificadas fue comparado con la lista de especies que está incluida en los apéndices de la convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Flora y Fauna Silvestres (CITES, 2017).

7.7.6. Procesamiento de datos

La información obtenida de los muestreos de campo fue analizada posteriormente de acuerdo con los métodos cuantitativos y cualitativos usados para las evaluaciones ecológicas. Para la fauna silvestre se realizarán los siguientes cálculos:

Para el análisis de datos obtenidos en la evaluación de la componente fauna silvestre, se aplicó las siguientes variables:

7.7.6.1 Composición, riqueza y abundancia

Se realizará la clasificación taxonómica por cada grupo evaluado de fauna silvestre (anfibios, reptiles, aves y mamíferos) siguiendo orden taxonómico (orden, familia y especie).

Para la determinación taxonómica de las especies de anfibios y reptiles registrados y/o colectados durante las evaluaciones, se utilizaron clases taxonómicas especializadas (Peters y Donoso-Barros 1979, Rodríguez *et al.* 1993), descripciones científicas, bases de datos internacionales, así como colecciones científicas de referencia (Departamento de Herpetología del Museo de Historia Natural de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos).

En el caso de aves, el listado de las aves siguió la clasificación taxonómica de la lista de aves de Perú (Plenge, 2017). Para la caracterización de las aves se presentó la riqueza de especies por hábitats evaluado en el área de estudio.

Riqueza específica (S): Es la forma más sencilla de medir la biodiversidad, ya que se basa únicamente en el número de especies presentes, sin tomar en cuenta el valor de importancia de las mismas (Moreno, 2001).



En los resultados se presentará la riqueza total de especies por grupo de fauna silvestre evaluado.

En el caso de los mamíferos mayores, la evaluación por transecto también permite estimar su abundancia (Peres, 1999); para lo cual se emplearon los índices de ocurrencia (IO) y abundancia (IA) de especies de Boddicker (Boddicker *et al.*, 2002).

La abundancia es la suma total de los individuos de una especie o especies obtenida mediante un muestreo (Bibby *et al.*, 1998). Esta abundancia junto con la riqueza de especies obtenida de la evaluación cuantitativa se utilizará para el cálculo de los índices de diversidad alfa y beta.

Para el cálculo de las especies potencialmente presentes de anfibios, reptiles y aves en el área de estudio se utilizó el modelo paramétrico asintótico exponencial negativo (Díaz-Francés y Soberón, 2005). Esta curva se utiliza cuando la región donde se hace el muestreo es grande o los taxa son poco conocidos, de forma que la probabilidad de encontrar una nueva especie nunca será cero (Soberón y Llorente, 1993), cuya expresión matemática esta representada en la Ecuación 7.16.

El modelo se ajustará a una regresión no lineal con dos parámetros, usando el algoritmo Quasi-Newton. Se utilizaron los programas EstimateS Win 8.20 y Statistica 7.

7.7.6.2 Diversidad alfa

a) Composición, riqueza y abundancia

Se realizó la clasificación taxonómica por cada subcomponente evaluado de fauna silvestre (mamíferos, aves, anfibios y reptiles) siguiendo una categoría taxonómica (orden, familia y especie).

Para la determinación taxonómica de las especies de anfibios y reptiles registrados y colectados durante las evaluaciones, se utilizaron claves taxonómicas especializadas (Peters y Donoso-Barros, 1979; Rodríguez *et al.*, 1993), descripciones científicas, bases de datos internacionales, así como colecciones científicas de referencia (Departamento de Herpetología del Museo de Historia Natural de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos).

En el caso de aves, se siguió la clasificación taxonómica de la lista de aves de Perú (Plenge, 2017); mientras que para los mamíferos silvestres se utilizó la información taxonómica indicada por Eisenberg y Redford (1999).

La riqueza y abundancia de especies fue analizada para cada subcomponente evaluado de fauna silvestre (mamíferos, aves, anfibios y reptiles).

La riqueza específica es la forma más sencilla de medir la biodiversidad, ya que se basa únicamente en el número de especies presentes, sin tomar en cuenta el valor de importancia de las mismas (Moreno, 2001). Mientras que la abundancia es la suma total de los individuos de una especie o especies obtenida mediante un muestreo (Bibby *et al.*, 1998).

En el caso de mamíferos mayores, para estimar la abundancia de especies bajo la metodología de censo por transectos se utilizaron los índices de ocurrencia (IO) y abundancia (IA) (Boddicker *et al.*, 2002). A continuación, se describen ambos índices en mención.



- Índices de ocurrencia (IO)

El índice de ocurrencia provee una lista de especies confirmadas basadas en las evidencias acumuladas (rastros y entrevistas). Siguiendo el criterio de Boddicker *et al.* (2002), cuando los puntos acumulados de las diferentes evidencias alcanzan un mínimo de 10 puntos o más, se concluye que la especie está presente en el sitio. Los valores para cada uno de estos registros están contenidos en la Tabla 7.34.

- Índice de abundancia (IA)

La aplicación del índice de abundancia es el más apropiado cuando se desea cubrir una mayor área de evaluación en un tiempo relativamente corto. En este sentido, se empleó la metodología descrita por Rodríguez y Amanzo (2001), donde señalan que los valores iguales o superiores a 25 indican mayor actividad de una especie en el área de estudio, y valores inferiores a 25 indican niveles bajos de actividad. Asumiendo que cada registro es un evento diferente, el índice de abundancia es la sumatoria del producto resultante de la multiplicación del valor de un tipo de evidencia por el número de veces en que fue registrado (Tabla 7.34).

Tabla 7.34. Puntaje para diferentes tipos de evidencias utilizado para calcular el índice de ocurrencia

Tipo de evidencia	Puntaje
Evidencia no ambigua:	-
Especie observada	10
Evidencia de alta calidad:	-
Huellas	5
Despojos (Huesos, pelos, cerdas)	5
Identificación por residentes locales	5
Vocalizaciones, emanación de sustancias odoríferos	5
Evidencias de baja calidad:	-
Camas, madrigueras, caminos, rasguños	4
Restos fecales	4

Para la estimación de riqueza y abundancia de especies de mamíferos por cámaras trampa, se tiene lo siguiente:

- Recolección de datos fotográficos y análisis de información

Los datos fotográficos fueron analizados con el programa Camera Base, una base de datos en el programa Access, específicamente diseñada para analizar fotos de cámaras trampa (Tobler, 2013). Para el análisis de datos se consideraron todas las fotos, excepto aquellas en blanco o las que registraron a personas. Se calculó la frecuencia de captura de cada especie usando el número de apariciones en 1000 días-cámara. El conteo de captura es el número de cámaras en las cuales aparece el animal. El número de apariciones cuenta los eventos independientes (cada evento tiene un intervalo de 30 minutos).

Se calculó la frecuencia de captura de cada especie usando el número de apariciones en 1000 días de cámara (lo que se calcula usando el número de apariciones multiplicado por 1000/esfuerzo de muestreo). El número de apariciones son eventos independientes y se calculó tomando solo la aparición de la especie en la misma estación en un periodo de media hora, excluyendo las imágenes seguidas de la misma especie en el lapso de media hora, ya que muchas especies se detienen delante de la cámara por prolongados periodos como los pecaríes (Escobedo, 2015).



b) Estimación de la riqueza esperada

Se realizó mediante la curva de acumulación de especies (Ecuación 7.16) la cual representa gráficamente la forma como las especies van apareciendo en las unidades de muestreo o de acuerdo con el incremento de número de individuos.

Se realizó la curva de acumulación de especies para determinar la eficiencia de muestreo y el cálculo de especies potenciales en el área de estudio, para ello se utilizó el modelo paramétrico asintótico exponencial negativo (Días-Frances y Soberón, 2005).

c) Índices de diversidad

Para el análisis de diversidad de especies de fauna silvestre evaluados (anfibios, reptiles, aves y mamíferos) se utilizaron los índices de Shannon-Wiener (Ecuación 7.11) y Simpson (Ecuación 7.12).

7.7.6.3 Diversidad beta

Para la evaluación de la diversidad beta de las especies fauna silvestre (anfibios, reptiles y aves) se usó un índice de similitud, mediante el índice de Morisita (Ecuación 14). Se calculó mediante el programa estadístico Past (Hammer *et al.*, 2001).

Para facilitar el análisis de los valores de similitud de manera visual, se procederá a la elaboración de dendrogramas mediante la unión de pares promedio (Sokal, 1958; Crisci y López, 1983) utilizando el programa estadístico Past (Hammer *et al.*, 2001).

7.7.6.4 Análisis multivariado

Para visualizar la estructura de la comunidad de especies de aves, ponderadas por su abundancia en función del tipo de hábitat, se realizó un análisis de *Escalamiento multidimensional no métrico* (NMDS). Este análisis se llevó a cabo en base a la distancia de Bray Curtis con 1000 permutaciones, además se realizará un análisis de permutaciones PERMANOVA, este análisis es semejante a un análisis de varianza, pero está basada en permutaciones calculadas mediante el algoritmo de Montecarlo, siendo recomendado para comunidades que no cumplen los supuestos de normalidad (Anderson *et al.* 2008).

Posteriormente se calculó el porcentaje de disimilitud SIMPER para establecer cuáles fueron las especies que tienen mayor contribución en la diferenciación de las comunidades. Estos análisis se realizaron con el paquete Vegan (Oksanen *et al.* 2017) en el programa R (R Core Team 2018).

7.7.6.5 Determinación de especies endémicas y amenazadas de fauna silvestre

Las especies de anfibios y reptiles endémicas de Perú fueron determinadas mediante la revisión de bibliografía especializada, como las descripciones originales de las especies o aquellas que indiquen la ampliación de rango. Adicionalmente, se consultaron bases de datos en línea como «Reptile Database» (Uetz *et al.*, 2019), «Amphibian species of the world» (Frost, 2019), «Amphibiaweb» (2019) y la página de la Lista Roja de especies amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, 2019).

Las especies endémicas de Perú y migratorias se determinaron según Schulenberg *et al.* (2010) y Plenge (2019) y las especies endémicas de los Biomas según Stotz *et al.* (1996).



Las especies endémicas de mamíferos se determinan utilizando la publicación de Pacheco *et al.* (2009) sobre diversidad y endemismo de los mamíferos del Perú.

Para determinar las especies amenazadas de fauna silvestre (anfibios y reptiles, aves, y mamíferos) obtenidas en la presente evaluación, se contrastó con la lista de clasificación y categorización de las especies amenazadas de fauna silvestre legalmente protegidas, aprobado según Decreto Supremo N.º 004-2014-MINAGRI, y con la clasificación internacional según IUCN (2019). Asimismo, se listaron las especies incluidas en los apéndices de la CITES (2017) y las especies incluidas en los apéndices de la *Convention on the Conservation of Migratory Species of Wild Animals*²⁸ (por sus siglas en inglés, CMS) (2015).

8. RESULTADOS

En este capítulo se analiza los resultados obtenidos durante la EAT en el área de influencia del proyecto Laguna Azul de Central Hidroeléctrica Mamacocha S.R.L., de las matrices evaluadas: agua superficial (ríos, quebradas, lagunas y manantial), sedimentos; además de estudios especializados como comunidades hidrobiológicas, evaluación hidroquímica, flora y fauna silvestre. Cabe precisar que, el presente capítulo contempla los resultados obtenidos durante el 2018 y 2019 dentro del área de influencia del proyecto Laguna Azul; sin embargo, los resultados obtenidos solo durante el 2018 se encuentran detallados en el Anexo 1 (Informe N.º 366-2018-OEFA/DEAM-STEAC).

Los resultados son presentados en 3 partes, la primera parte corresponde a la comparación con las normas ambientales aprobados en el IGA²⁹, la segunda parte corresponde a la comparación con referencias internacionales, y la tercera a estudios especializados considerados en la presente EAT, los cuales son presentados a continuación.

Con la finalidad de tener una mejor interpretación de resultados obtenidos de la presente evaluación, se ha considerado para la evaluación de agua superficial, sedimento y comunidades hidrobiológicas una sola zona (zona I), que abarca la parte baja de cuenca del río Mamacocha desde la descarga de la laguna Chachas hasta la confluencia del río Mamacocha con el río Colca. Dicha zona comprende: 2 puntos de muestreo después de la descarga de la laguna Chachas, 1 punto en la quebrada Subna, 4 puntos en la laguna Mamacocha, 3 puntos en el río Mamacocha y 2 puntos en el río Colca. Adicionalmente, se tomaron muestras de agua en un manantial y 3 puntos en canales. En la Figura 8.1 se muestra la distribución de los puntos de muestreo evaluados de agua, sedimento y comunidades hidrobiológicas.

Para el caso de la evaluación de flora y fauna se han considerado 3 zonas: la zona 1 corresponde a la laguna Mamacocha, la zona 2 el tramo del río Mamacocha desde la descarga de la laguna Mamacocha hasta antes de la confluencia con el río Colca; y la zona 3 la confluencia entre los ríos Mamacocha y Colca. En la Figura 8.2 se muestra la distribución de las zonas evaluadas de flora y fauna.

²⁸ Traducido al español como Convención sobre la conservación de las especies migratorias de animales silvestres.

²⁹ Informe Técnico Sustentatorio (ITS) para la Modificación de componentes del Proyecto «Central Hidroeléctrica Laguna Azul» aprobado mediante Resolución Sub Gerencial Regional N.º 163-2017-GRA/ARMA-SGCA.

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

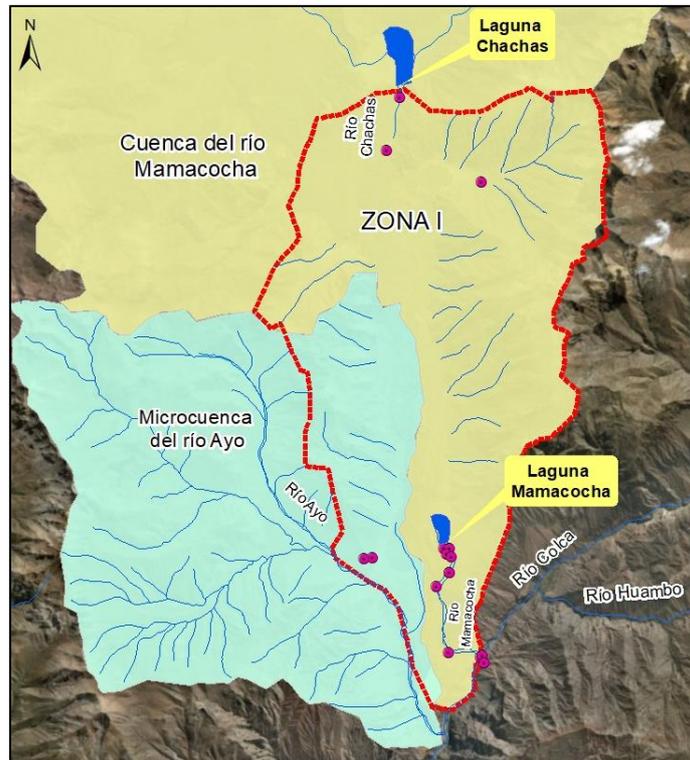


Figura 8.1. Esquema del límite de la zona I para evaluación de agua, sedimento y comunidades hidrobiológicas



Figura 8.2. Distribución de zonas para evaluación de flora y fauna silvestre



8.1. Comparación con las normas aprobadas en el IGA y vigente

8.1.1. Agua superficial

De acuerdo al informe técnico sustentatorio del proyecto Laguna Azul, aprobado mediante Resolución Sub Gerencial Regional N.º 163-2017-GRA/ARMA-SGCA, los resultados de calidad de agua superficial serán comparados con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua categorías 3 y 4, aprobados mediante Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM (en adelante, ECA para agua Cat3 y Cat4): categoría 3 (riego de vegetales y bebida de animales), subcategoría D1 (riego de vegetales) y subcategoría D2 (bebida de animales), y categoría 4 (conservación del ambiente acuático) para la subcategoría E1 (lagunas y lagos). Asimismo, para el río Mamacocha se ha considerado la categoría 1 (poblacional y recreacional), subcategoría A2 (aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional) de acuerdo con la Resolución Jefatural N.º 056-2018-ANA.

Los resultados se exponen mediante representaciones gráficas, de aquellos parámetros evaluados que excedieron los ECA para Agua (2017), y de aquellos que hayan presentado alguna anomalía en su comportamiento. En el Anexo 4 (Reporte de resultados N.º 212-2019-SSIM) se encuentra el detalle de los resultados de calidad de agua superficial de todos los parámetros evaluados en el 2019, y los resultados correspondientes al 2018 se encuentran en el Anexo 1 (Informe N.º 366-2018-OEFA/DEAM-STEC).

La evaluación ambiental en la zona de estudio en octubre 2018 comprendió 14 puntos de muestreo de agua superficial; de los cuales 1 se ubicó en quebrada, 5 en ríos, 5 en lagunas, 2 en canales y 1 en manantial; y, en mayo 2019 de los 12 puntos de muestreo; 1 se ubicó en quebrada, 3 en ríos, 5 en lagunas, 2 en canales y 1 en manantial. En la Tabla 8.1 se muestra el resumen de los parámetros que excedieron los valores de los ECA para Agua (2017), de las categorías, Cat3D1, Cat3D2, Cat1A2, Cat4E1.

Tabla 8.1. Resultados de calidad de agua superficial que excedieron los ECA para Agua

Punto de muestreo	Octubre 2018 (primer monitoreo)			Mayo 2019 (segundo monitoreo)		
	Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM					
	Categoría 1	Categoría 3		Categoría 1	Categoría 3	
	A2: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	D1: Riego de vegetales	D2: Bebida de animales	A2: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	D1: Riego de vegetales	D2: Bebida de animales
QSub-1	-	Manganeso	Manganeso	-	-	-
RCol-1	-	Boro	-	-	-	-

:- no excede los ECA para Agua (2017), Categorías: Cat1A2, Cat3D1 y Cat3D2.

En el río Colca (RCol-1) solo en octubre 2018, se registró una concentración de boro total que incumplió los ECA para agua (2017), Cat3D1, respecto a los demás puntos todos cumplieron con dicho estándar (Figura 8.3).



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

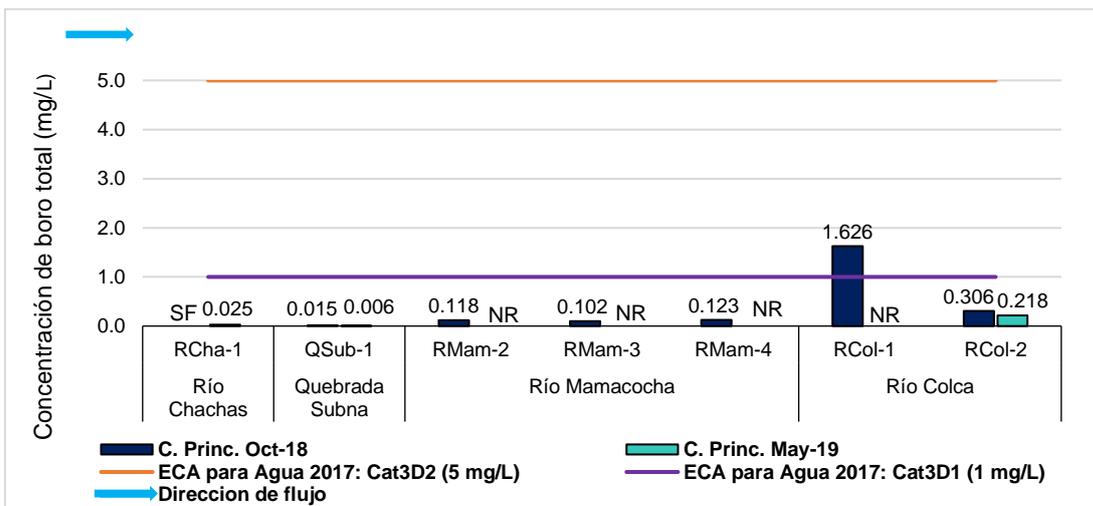


Figura 8.3.. Concentración de boro total comparada con los ECA para Agua (2017) categoría 3: D1 y D2.

NR: no realizado o evaluado
SF: sin flujo de agua

En la quebrada Subna (QSub-1) solo en octubre 2018 se registró una concentración de manganeso total que incumplió los ECA para agua (2017), Cat3D1 y Cat3D2, respecto a los demás puntos que cumplieron con dicho estándar (Figura 8.4).

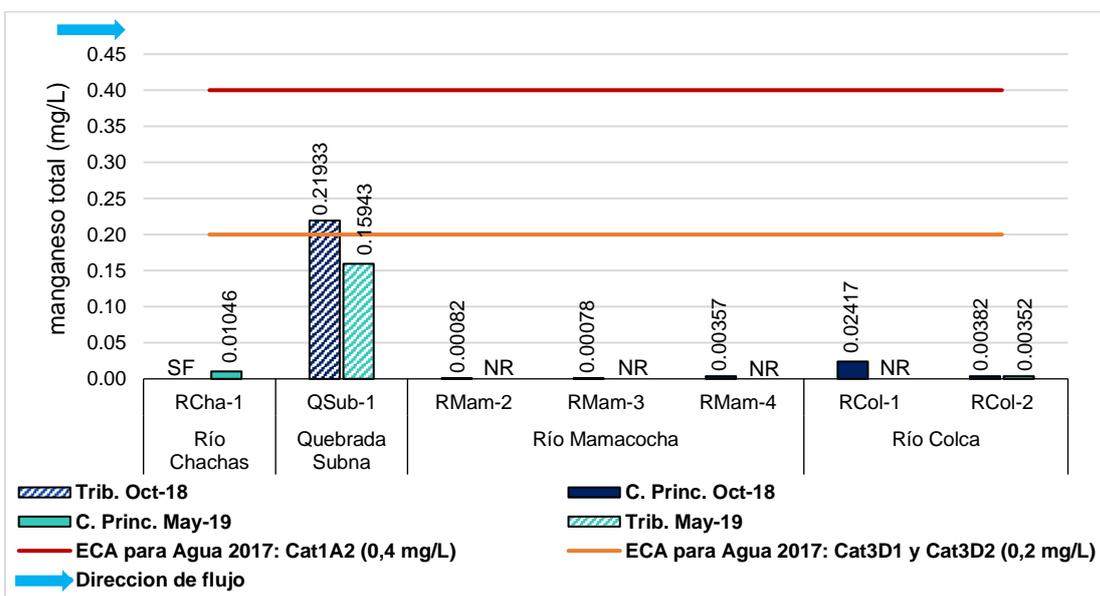


Figura 8.4. Concentración de manganeso total comparada con los ECA para Agua (2017) categoría 3: D1 y D2, además de la Categoría 1: A2.

NR: no realizado o evaluado
SF: sin flujo de agua

Los demás parámetros evaluados en todos los puntos se encontraron dentro del rango establecido en los ECA para Agua (2017), Cat1A2, Cat3D1 y CatD2.

Respecto a los parámetros de campo a continuación se menciona los principales rangos de variación:



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

En los puntos de agua superficial en los ríos Mamacocha, Colca, Chachas y la quebrada Subna, el valor de pH varió entre 7,16 y 8,16 unidades de pH en octubre de 2018; y entre 7,12 y 8,14 en mayo 2019. La conductividad eléctrica varió entre 112,2 $\mu\text{S/cm}$ a 837,0 $\mu\text{S/cm}$ en octubre 2018 y de 324,0 $\mu\text{S/cm}$ a 541,0 $\mu\text{S/cm}$ en mayo 2019. Asimismo, la temperatura registrada vario de 18 a 21,6 °C en octubre 2018 y de 15,8 a 19,2 °C en mayo 2019. Respecto al oxígeno disuelto se registró valores de 5,96 a 8,26 en octubre 2019 y de 6,86 a 8,44 en mayo 2019.

En los puntos de agua superficial en las lagunas Mamacocha y Chachas, el valor de pH varió entre 7,16 y 8,06 en octubre de 2018; y entre 6,89 y 7,31 en mayo 2019. La conductividad eléctrica varió entre 112,2 $\mu\text{S/cm}$ a 297,0 $\mu\text{S/cm}$ en octubre 2018 y de 110,2 $\mu\text{S/cm}$ a 294 $\mu\text{S/cm}$ en mayo 2019. Asimismo, la temperatura registrada vario de 17,4 a 19,5 °C en octubre 2018 y de 18,7 a 19,1 °C en mayo 2019. Respecto al oxígeno disuelto se registró valores de 6,39 y 7,54 en octubre 2019 y de 7,14 y 7,88 en mayo 2019.

El valor de pH en el manantial MSN-1 registró un valor de 7,48 en octubre de 2018 y 7,16 en mayo 2019. Se obtuvo una conductividad de 318 $\mu\text{S/cm}$ en octubre 2018 y 342 $\mu\text{S/cm}$ en mayo 2019, con valores de temperatura de 7,14 y 7,21 para octubre 2018 y mayo 2019 respectivamente.

8.2. Comparación con norma referencial

8.2.1. Sedimento

En esta sección se presenta los resultados comparados con los valores de la guía canadiense para sedimentos de aguas continentales *Canadian Environment Quality Guidelines* [CEQG]) que será denominada en adelante guía canadiense. Los demás resultados del año 2018 se encuentran en el en el Anexo 1 (Informe N.º 366-2018-OEFA/DEAM-STEAC). Para el año 2019 no se registró muestras de sedimento.

En la Tabla 8.2 se presenta los resultados de sedimento obtenidos en los puntos evaluados en la laguna Chachas (LCha-1), laguna Mamacocha (LMam-2) y río Mamacocha (RMam-3) muestreados en el mes de octubre de 2018, los que han sido comparados referencialmente con los estándares de las guías canadiense (ISQG y PEL), donde se resalta que el arsénico, cobre, plomo, zinc y mercurio total superaron el valor ISQG y/o PEL en al menos un punto evaluado, a diferencia del cadmio y cromo cuya concentración de sedimento no superó el ISQG y/o PEL en ningún punto evaluado.

Tabla 8.2. Resultados de calidad de sedimento

Código	Parámetros						
	arsénico (mg/Kg)	cadmio (mg/Kg)	cromo (mg/Kg)	cobre (mg/Kg)	plomo (mg/Kg)	zinc (mg/Kg)	mercurio Total (mg/Kg)
LCha-1	19,1	<1,0	9,5	28,3	48	103,4	0,25
LMam-2	<17,5	<1,0	28,9	1508	11	33,2	<0,10
RMam-3	<17,5	<1,0	5,9	26,8	14	161,8	<0,10
ISQG ^(a)	5,9	0,6	37,3	35,7	35	123	0,17
PEL ^(b)	17	3,5	90	197	91,3	315	0,486
<div style="background-color: #90EE90; width: 15px; height: 10px; display: inline-block;"></div> Superó el valor ISQG							
<div style="background-color: #D3D3D3; width: 15px; height: 10px; display: inline-block;"></div> Superó el valor PEL							
(a) ISQG (<i>Interim Sediment Quality Guideline</i>): Concentración por debajo de la cual no se debe presentar efecto biológico adverso.							
(b) PEL (<i>Probable Effect Level</i>): Concentración sobre la cual se encuentran efectos biológicos adversos con frecuencia.							



8.3. Estudios especializados

8.3.1. Comunidades hidrobiológicas

En esta sección se presentan los resultados de las comunidades hidrobiológicas de plancton (fitoplancton y zooplancton), perifiton (vegetal y animal) y macrobentos evaluados en octubre 2018 (en adelante, evaluación de 2018) y mayo 2019 (en adelante, evaluación de 2019).

Mayores detalles de los resultados de comunidades hidrobiológicas se encuentran en el Anexo 5.

A. Plancton

El plancton fue analizado en sus dos componentes: fitoplancton y zooplancton

A.1. Fitoplancton

En la evaluación de 2018, se evaluaron 3 puntos de muestreo, donde se evidenciaron 45 taxones³⁰ de fitoplancton, siendo el phylum Bacillariophyta el mejor representado con 36 taxones (80 % del total de taxones), a su vez, dentro de este phylum, el orden Cymbellales fue el más representativo, con 9 taxones. También se registró la presencia de los phyla Cyanobacteria, Chlorophyta con 4 cada una y Ochrophyta con un único taxón.

Por otro lado, en la evaluación de 2019, los valores de riqueza presentaron 23 taxones de fitoplancton, encontrándose al phylum Bacillariophyta como el más representativo con 17 taxones (74 % del total de taxones), seguido de Cyanobacteria con 5, Chlorophyta con un único taxón.

La representatividad de los phyla Cyanobacteria, Chlorophyta y Ochrophyta fue baja, encontrándose una baja riqueza que varían entre 1 a 5 taxones. La descripción de taxones en detalle, para ambas evaluaciones, se puede observar en el Anexo 5.

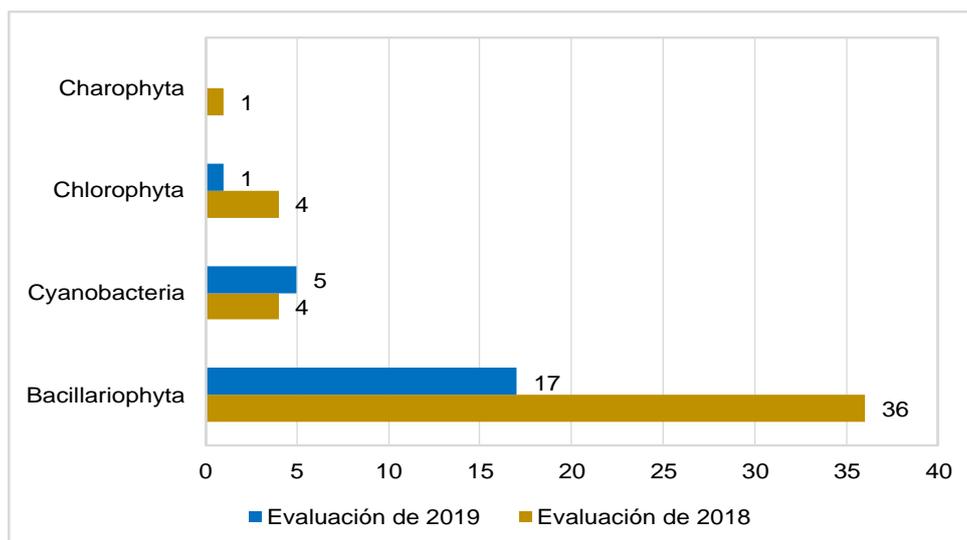


Figura 8.5. Riqueza de taxones por Phylum del fitoplancton en las evaluaciones de 2018 y 2019

³⁰ El número de taxones hace referencia al nivel taxonómico de especie, pero debido al importante aporte de morfoespecies no determinadas (sp.), no se usa este nivel taxonómico de manera general.

**a) Composición y riqueza**

La riqueza presentó un rango de variación entre 18 y 20 taxones por punto para la evaluación de 2018; mientras que, en el 2019, la riqueza varió entre 16 y 19 taxones. El phyla Bacillariophyta fue el más diverso en ambas lagunas, Chachas y Mamacocha, registrándose la mayor representatividad en todos los puntos de muestreo evaluados.

El punto LCha-1 y LMam-3 en la evaluación de 2018 registraron 20 taxones cada uno y se observaron la mayor cantidad de phyla. Además, en el punto LCha-1 se encontró el phylum Ochrophyta con un solo taxón. Es preciso indicar que en el punto LCha-1 en la evaluación de 2019 no se obtuvo muestras de fitoplancton (Figura 8.6).

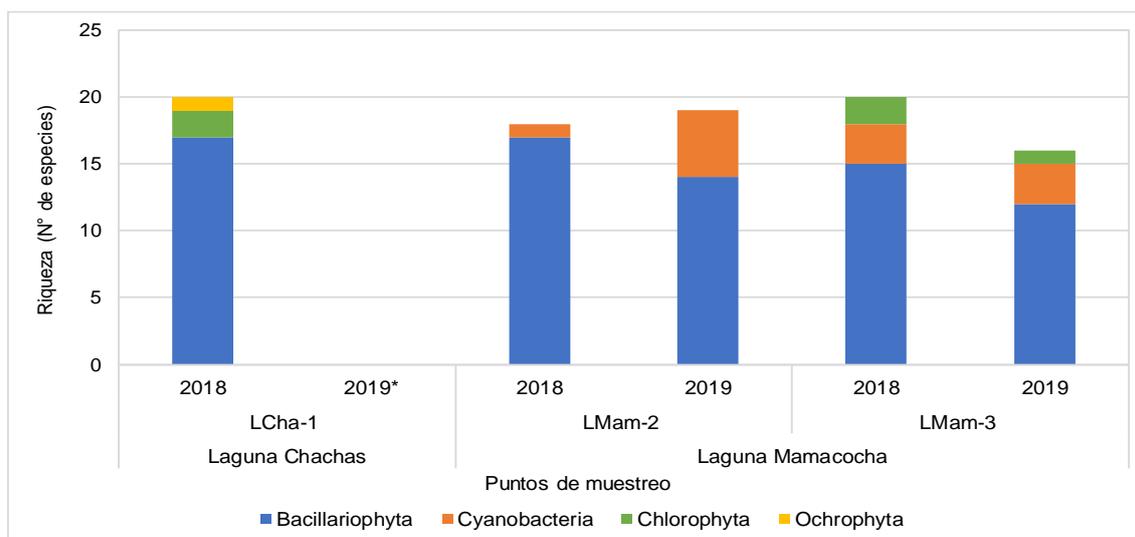


Figura 8.6. Comparación de la riqueza de taxones de fitoplancton por punto de muestreo y phylum, en las evaluaciones de 2018 y 2019

(*) No evaluado

En la laguna Chachas se registraron 20 especies y 14 fueron reportadas específicas para esta laguna. En la laguna Mamacocha se registraron 39 especies y 33 se encontraron solo en esta laguna. Además, se evidenció que 6 especies fueron encontradas en ambas lagunas.

Tabla 8.3. Especies que solo fueron reportadas para cada laguna evaluada

N°	Mamacocha	Chachas
1	<i>Achnanthydium cf. atomus</i>	<i>Nitzschia palea</i> *
2	<i>Achnanthydium cf. exilis</i>	<i>Cymbella cf. neocistula</i>
3	<i>Planothidium frequentissimum</i>	<i>Encyonema aff. schneideri</i>
4	<i>Planothidium lanceolatum</i>	<i>Gomphonema subclavatum</i>
5	<i>Cocconeis placentula</i>	<i>Gomphonema parvulum</i>
6	<i>Nitzschia gracilis</i>	<i>Eunotia cf. exigua</i>
7	<i>Nitzschia palea</i> *	<i>Gyrosigma sp. 1</i>
8	<i>Nitzschia cf. suchlandtii</i>	<i>Epithemia gibba</i>
9	<i>Nitzschia commutata</i>	<i>Cymatopleura solea var. angusta</i>
10	<i>Gomphonema cf. mexicanum</i>	<i>Fragilaria crotonensis</i> *
11	<i>Gomphonema truncatum</i>	<i>Pseudostaurosira laucensis var. vulpina</i>
12	<i>Gomphonema cf. gracile</i>	<i>Synedra sp.1</i> *
13	<i>Placoneis scharfii</i>	<i>Ulnaria ulna</i>
14	<i>Rhoicosphenia sp.</i>	<i>Asterionella formosa</i> *
15	<i>Achnanthes inflata</i>	<i>Diatoma vulgaris</i>
16	<i>Halamphora veneta</i>	<i>Aulacoseira granulata</i> *

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

N°	Mamacocha	Chachas
17	<i>Pinnularia notabilis</i>	<i>Melosira varians</i> *
18	<i>Pinnularia cf. tsonaka</i>	<i>Comasiella arcuata</i>
19	<i>Craticula acidoclinata</i>	<i>Oocystis lacustris</i>
20	<i>Amphora ovalis</i>	<i>Mallomonas sp.</i>
21	<i>Fragilaria crotonensis</i> *	-
22	<i>Fragilaria sp. 1</i>	-
23	<i>Fragilariforma virescens</i>	-
24	<i>Staurosira construens</i>	-
25	<i>Staurosira venter</i>	-
26	<i>Pseudostaurosira aff. brevistriata</i>	-
27	<i>Synedra sp.1*</i>	-
28	<i>Ulnaria ulna</i>	-
29	<i>Asterionella formosa</i> *	-
30	<i>Aulacoseira granulata</i> *	-
31	<i>Melosira varians</i> *	-
32	<i>Cyanothece aeruginosa</i>	-
33	<i>Oscillatoria sp.</i>	-
34	<i>Phormidium sp.</i>	-
35	<i>Kamptonema formosum</i>	-
36	<i>Heteroleibleinia sp.</i>	-
37	<i>Tapinothrix varians</i>	-
38	<i>Oedogonium sp.</i>	-
39	<i>Desmodesmus communis</i>	-

(*) Especies presentes en ambas lagunas evaluadas

b) Abundancia

Durante las evaluaciones de 2018 y 2019 se colectaron 198650 organismos distribuidos en 4 phyla, siendo el phylum Bacillariophyta el más abundante en ambas evaluaciones, representando un 93,13 % del total de organismos. Además, se registraron los phyla Cyanobacteria con 10 500 organismos (5,29 %), Chlorophyta con 2650 organismos (1,33 %) y Ochrophyta con 500 organismos (0,25 %).

En la evaluación de 2018 se registraron 121 550 organismos de fitoplancton, siendo el phylum Bacillariophyta el más dominante, con 114 500 organismos (94,2 %), seguido de Cyanobacteria con 4000 organismos (3,29 %), Chlorophyta con 2550 organismos (2,10 % del total) y Charophyta con 500 organismos (0,41 % del total). En todos los puntos de muestreo, se puede evidenciar el predominio del phylum Bacillariophyta y la mayor abundancia se registró en el punto LCha-1 con 470 000 organismos encontrándose 3 de los 4 phyla de la estructura comunitaria, siendo los phyla Chlorophyta y Ochrophyta los menos abundante con 2000 y 500 organismos, respectivamente.

En la evaluación de 2019 se registraron 77 100 organismos de perifiton vegetal, siendo el phylum Bacillariophyta el más dominante, con 70 500 organismos (91,44 %), seguido de Cyanobacteria con 6500 organismos (8,43%) y Chlorophyta con 100 organismos (0,13 % del total). En los puntos de muestreo, se puede evidenciar el predominio del phylum Bacillariophyta y la mayor abundancia se registró en el punto LMam-3 con 45 100 organismos, encontrándose 3 de los 4 phyla de la estructura comunitaria, siendo los phyla Cyanobacteria y Chlorophyta los menos abundante con 3500 y 100 organismos, respectivamente. En la Figura 8.7 se muestra la comparación de abundancia por punto de muestreo.

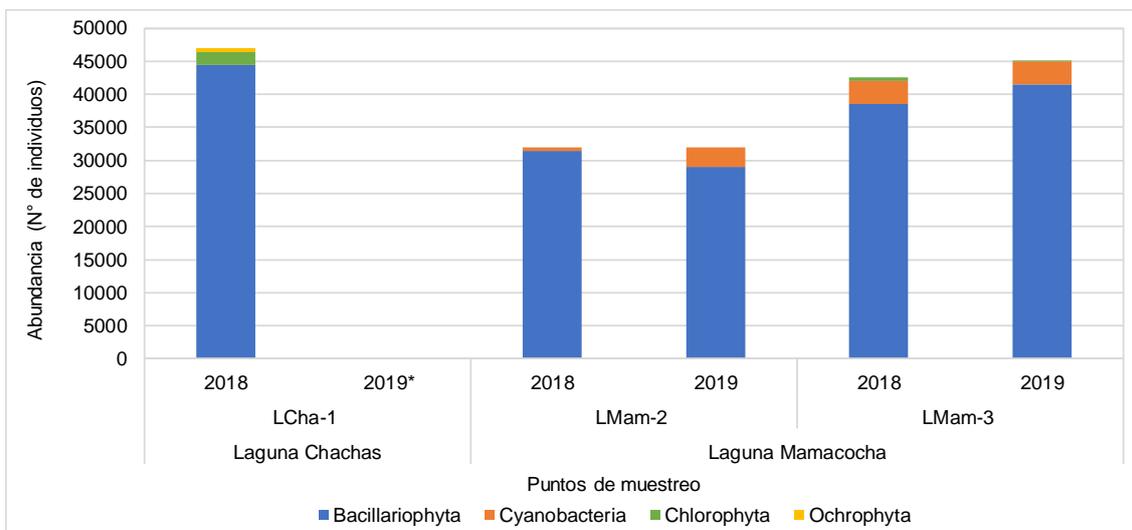
Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
 Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad


Figura 8.7. Comparación de la abundancia de fitoplancton por punto de muestreo y phylum, en las evaluaciones de 2018 y 2019

(*) No evaluado

c) Diversidad alfa

En base a la riqueza de taxones y abundancia, en la Tabla 8.4 se detallan los valores del índice de diversidad de Hill (N1), índice de Simpson (1-D) y equidad de Pielou (J') para cada punto de muestreo, en las evaluaciones de 2018 y 2019.

En la evaluación 2018, los máximos valores de N1, índice de Simpson y equidad de Pielou se registraron en el punto de muestreo LMam-2; mientras que, en la evaluación de 2019, los máximos valores fueron registrados en el punto LMam-3.

Los altos valores del índice de Simpson en ambas evaluaciones (2018 y 2019) nos indican que la diversidad es alta y no existe dominancia de alguna especie, lo cual sugiere una distribución homogénea de las abundancias de los organismos registrados en estos puntos.

Tabla 8.4. Diversidad alfa del fitoplancton por punto de muestreo en las evaluaciones de 2018 y 2019

Puntos de muestreo	N1		J'		1-D	
	2018	2019	2018	2019	2018	2019
LCha-1	6,45	NE	0,62	NE	0,73	NE
LMam-2	12,09	8,93	0,86	0,74	0,89	0,80
LMam-3	11,01	10,38	0,80	0,84	0,86	0,88

d) Diversidad beta

El dendograma de similaridad de Bray Curtis para la comunidad de fitoplancton, permitió conformar 3 agrupaciones, de las cuales, solamente una supera un porcentaje de similitud del 50 %, conformado por los puntos de muestreo LMam-2 y LMam-3 en la evaluación de 2019, donde estos tienen en común 12 taxones representados por los phyla Bacillariophyta y Cyanobacteria (Figura 8.8).



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

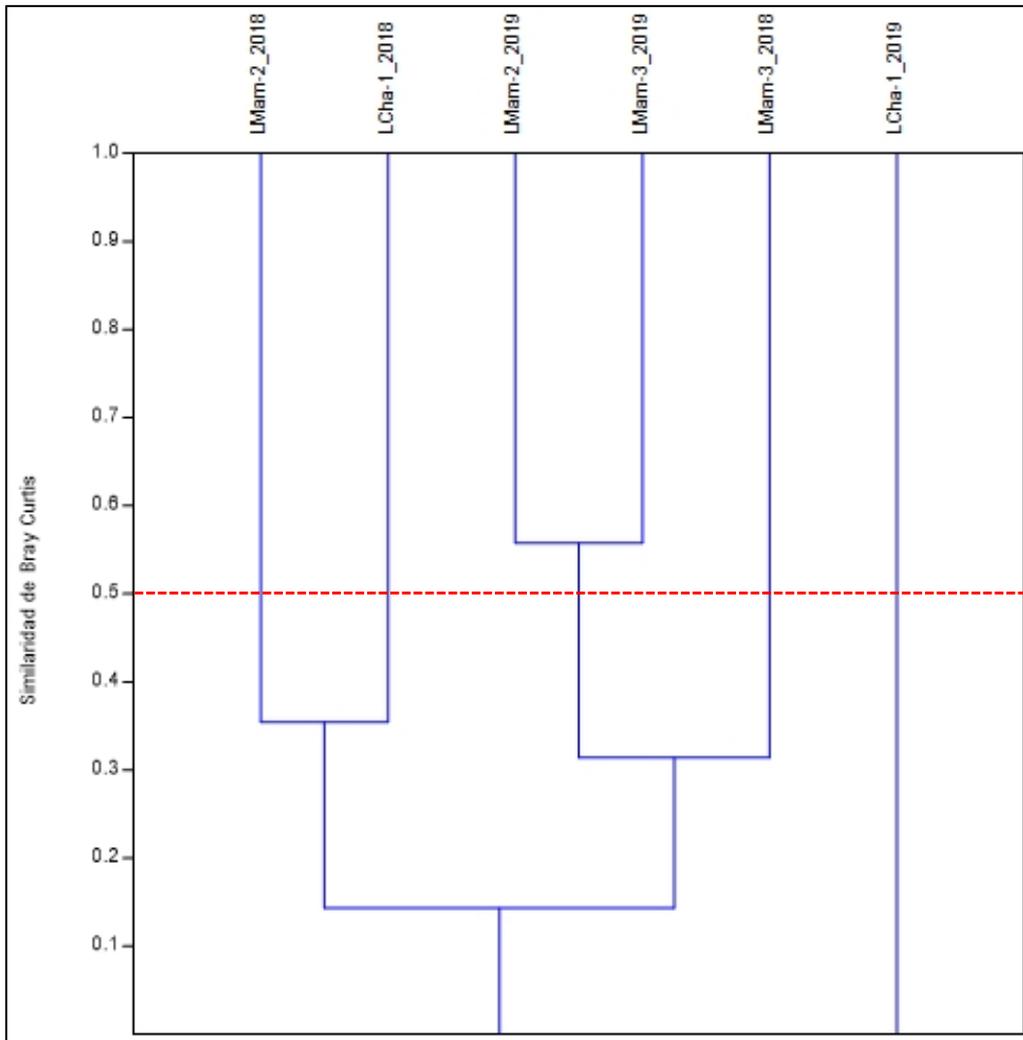


Figura 8.8. Comparación de la abundancia de fitoplancton por punto de muestreo y phylum, en las evaluaciones de 2018 y 2019

A.2 Zooplancton

a) Composición, riqueza y abundancia

En la Tabla 8.5 se presentan los valores de riqueza y abundancia del zooplancton por punto de muestreo.

Tabla 8.5. Composición, riqueza y abundancia del zooplancton, en las evaluaciones de 2018 y 2019

Phylum	Riqueza (Taxón)	LCha-1		LMam-2		LMam-3	
		2018	2019	2018	2019	2018	2019
Cercozoa	<i>Euglypha cristata</i>	0	NE	0	20	0	0
Cercozoa	<i>Euglypha acantophora</i>	0	NE	0	10	0	0
Cercozoa	<i>Trinema lineare</i>	0	NE	0	20	0	0
Rotífera	<i>Keratella americana</i>	10	NE	0	0	0	0
Rotífera	<i>Lecane hamata</i>	0	NE	0	0	5	40
Rotífera	<i>Lecane sp. 1</i>	0	NE	0	10	0	0



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

Rotífera	<i>Colurella adriatica</i>	0	NE	0	30	5	10
S (Total de taxones)		1	NE	0	5	2	2
N (abundancia)		10	NE	0	90	10	50

NE: no evaluado

En la evaluación de 2018, solo se evidenció la presencia del phylum Rotífera. La especie *Keratella americana* fue registrada solo en el punto LCha-1 con 10 organismos. Por otro lado, en el punto LMam-3 se encontraron 2 especies: *Lecane hamata* y *Colurella adriatica* ambas con 5 organismos y en el punto LMam-2 no se registraron organismos del zooplancton.

En la evaluación de 2019, en el punto LMam-2 se evidenció la presencia de 2 phyla: Cercozoa y Rotífera. Donde se registró la mayor riqueza y abundancia con 5 especies y 90 organismos, respectivamente; mientras que, en el punto LMam-3 solamente se registró 2 especies del phylum Rotífera, siendo estas las mismas del registro de la evaluación de 2018.

B. Perifiton

El perifiton fue analizado en sus 2 componentes: perifiton vegetal y perifiton animal.

B.1. Perifiton vegetal

En total se encontraron 91 taxones de perifiton vegetal; siendo el phylum Bacillariophyta el mejor representado con 60 taxones (66 % del total), seguido de Cyanobacteria con 19, Chlorophyta con 9 y Charophyta con 3.

En la evaluación de 2018, se evaluaron 8 puntos de muestreo, donde se evidenciaron 66 taxones, registrándose el phylum Bacillariophyta con 42 taxones (63,64 % del total), seguido de Cyanobacteria con 17, Chlorophyta con 5 y Charophyta con 2 taxones.

En la evaluación de 2019, los valores de riqueza presentaron 70 taxones de perifiton vegetal en los 7 puntos de muestreo evaluados, encontrándose al phylum Bacillariophyta como el más representativo con 47 taxones (67,14 % del total), seguido de Cyanobacteria con 16, Chlorophyta con 6 y Charophyta con un único taxón. A su vez dentro del phylum Bacillariophyta los órdenes Cymbellales y Naviculales fueron los más representativos, con 11 y 9 taxones, respectivamente.

La descripción de taxones en detalle, para ambas evaluaciones, se puede observar en el Anexo 5.



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

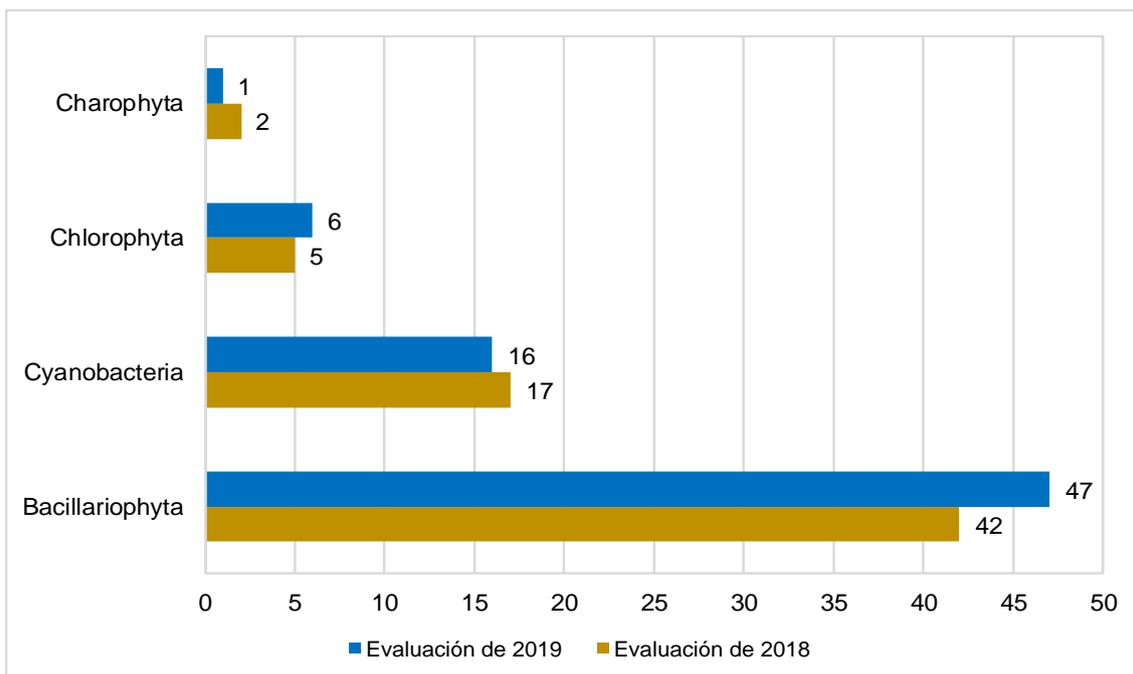


Figura 8.9. Riqueza de taxones por Phylum del perifiton vegetal en las evaluaciones de 2018 y 2019

a) Composición, riqueza y abundancia

En la evaluación 2018, la riqueza presentó un rango de variación entre 10 - 24 taxones por punto de muestreo. El valor de riqueza más alto corresponde al punto de muestreo RCol-1 con 24 taxones y presentó los 4 phyla registrados en su composición comunitaria. Además, en la mayoría de los puntos, el phylum Bacillariophyta presentó el mayor número de taxón, con excepción del punto QSub-1 en donde el phylum Cyanobacteria fue el de mayor riqueza. Cabe señalar que, la especie más frecuente fue *Achnantheidium cf. atomus*, presente en 6 de los 8 puntos de muestreo evaluados.

En la evaluación de 2019, la riqueza varió de 13 a 30 taxones por punto. En la mayoría de los puntos de muestreo, el phylum Bacillariophyta presentó el mayor número de taxones, con excepción del punto QSub-1 en donde el phylum Cyanobacteria y Bacillariophyta tuvieron la misma riqueza, 6 taxones. Cabe señalar que, las especies más frecuentes fueron *Cocconeis placentula*, *Nitzschia palea*, *Nitzschia cf. suchlandtii*, *Gomphonema cf. minutum*, *Fragilaria capuccina* y *Stigeoclonium sp.* presente en 5 de los 7 puntos de muestreo evaluados (Figura 8.10).



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

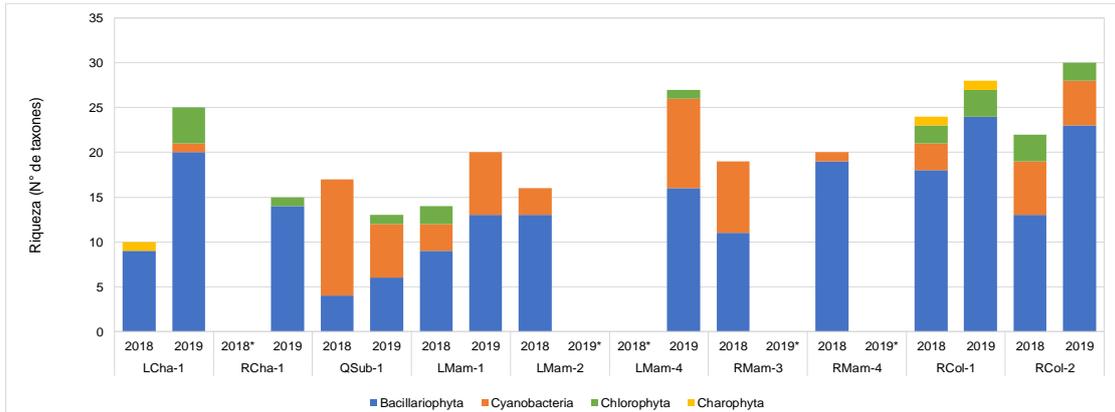


Figura 8.10. Comparación de la riqueza de taxones de perifiton vegetal por punto de muestreo y phylum en las evaluaciones de 2018 y 2019
(*) No evaluado

b) Abundancia

En la evaluación de 2018 se registraron 310120 organismos de perifiton vegetal, siendo el phylum Bacillariophyta el más dominante, con 212000 organismos (68,36 %), seguido de Cyanobacteria con 92000 organismos (29,67 %), Chlorophyta con 5400 organismos (1,74 % del total) y Charophyta con 700 organismos (0,23 % del total). En la mayoría de los puntos de muestreo, se puede evidenciar el predominio del phylum Bacillariophyta, excepto en el punto QSub-1, donde el phylum Cyanobacteria fue el más abundante con 42400 organismos. La mayor abundancia se registró en el punto RMam-3 con 63200 organismos, encontrándose los phyla Bacillariophyta y Cyanobacteria con 31600 organismos cada uno.

En la evaluación de 2019 se registraron 329520 organismos de perifiton vegetal, siendo el phylum Bacillariophyta el más dominante, con 230800 organismos (70,04 %), seguido de Cyanobacteria con 94800 organismos (28,77 %), Chlorophyta con 3520 organismos (1,07 % del total) y Charophyta con 400 organismos (0,12 % del total). En la mayoría de los puntos de muestreo, se puede evidenciar el predominio del phylum Bacillariophyta, excepto en los puntos QSub-1 y LMam-4, donde el más abundante fue el phylum Cyanobacteria con 7200 organismos y 54000, respectivamente. La mayor abundancia se registró en el punto LMam-4 con 100400 organismos, encontrándose 3 de los 4 phyla de la estructura comunitaria, siendo el phylum Cyanobacteria el más abundante con 54000 organismos.

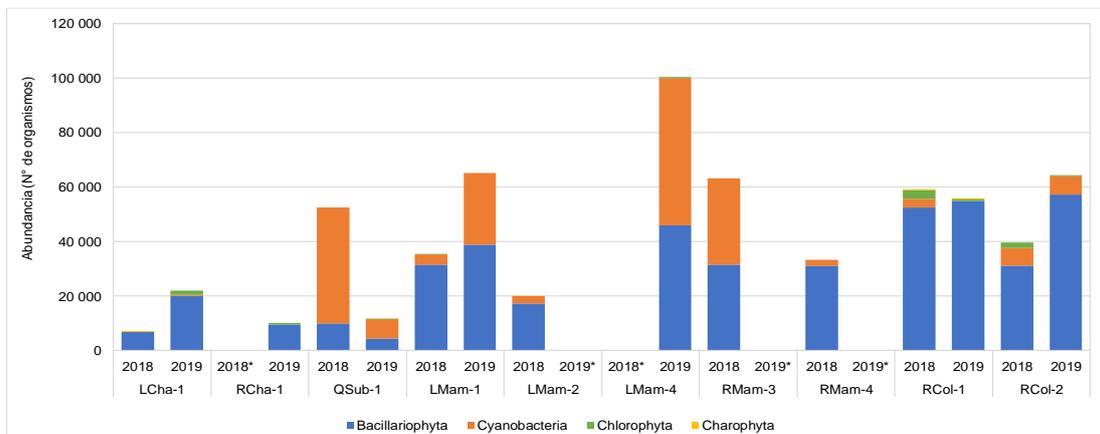


Figura 8.11. Comparación de la abundancia de taxones de perifiton vegetal por punto de muestreo y phylum, en las evaluaciones de 2018 y 2019
(*) No evaluado

**c) Diversidad alfa**

En base a la riqueza de taxones y abundancia, en la Tabla 8.6 se detallan los valores del índice de diversidad de Hill (N1), índice de Simpson (1-D) y equidad de Pielou (J') para cada punto de muestreo, en las evaluaciones de 2018 y 2019.

En la evaluación 2018, el máximo valor de N1 se registró en el punto RCol-1 (16,61); así también, el máximo valor de equidad de Pielou se encontró en el punto LCha-1 (0,96) y para el índice de Simpson se registraron en los puntos de muestreo RCol-1 y RCol-2 (0,92); así también, el mínimo valor de N1, equidad de Pielou e índice de Simpson se registraron en el punto LMam-1.

En la evaluación de 2019, los máximos valores de N1 e índice de Simpson fueron registrados en el punto LCha-1 con valores 18,98 y 0,94, respectivamente; así también, el máximo valor de equidad se registró en el punto RCha-1, con un valor de 0,96. El mínimo valor de los índices de diversidad alfa se registraron en el punto QSub-1 y solo en el caso de la equidad de Pielou también se registró en el punto LMam-4.

Los altos valores del índice de Simpson en ambas evaluaciones (2018 y 2019) nos indican que la diversidad es alta y no existe dominancia de alguna especie, lo cual sugiere una distribución homogénea de las abundancias de los organismos registrados en estos puntos.

Tabla 8.6. Diversidad alfa del perifiton vegetal por punto de muestreo en las evaluaciones de 2018 y 2019

Puntos de muestreo	N1		J'		1-D	
	2018	2019	2018	2019	2018	2019
LCha-1	9,17	18,98	0,96	0,91	0,88	0,94
RCha-1	NE	13,36	NE	0,96	NE	0,92
QSub-1	12,56	9,35	0,89	0,87	0,90	0,87
LMam-1	8,23	13,75	0,80	0,88	0,84	0,91
LMam-4	NE	17,70	NE	0,87	NE	0,93
LMam-2	13,05	NE	0,93	NE	0,91	NE
RMam-4	14,59	NE	0,89	NE	0,91	NE
RCol-1	16,61	18,97	0,88	0,88	0,92	0,93
RCol-2	16,07	16,11	0,90	0,82	0,92	0,90
RMam-3	13,40	NE	0,88	NE	0,91	NE

NE: no evaluado



Valores máximos de índices de diversidad alfa

Valores mínimos de índices de diversidad alfa

d) Diversidad beta

El dendograma de similaridad de Bray Curtis para la comunidad de perifiton vegetal, permitió conformar 4 agrupaciones, de las cuales, una supera el porcentaje de similitud del 50 % y está conformada por los puntos de muestreo RCol-1 y RCol-2 en la evaluación de 2019 que tienen en común 20 taxones representados por los phyla Bacillariophyta (18) y Chlorophyta (2), ver Figura 7-98.



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

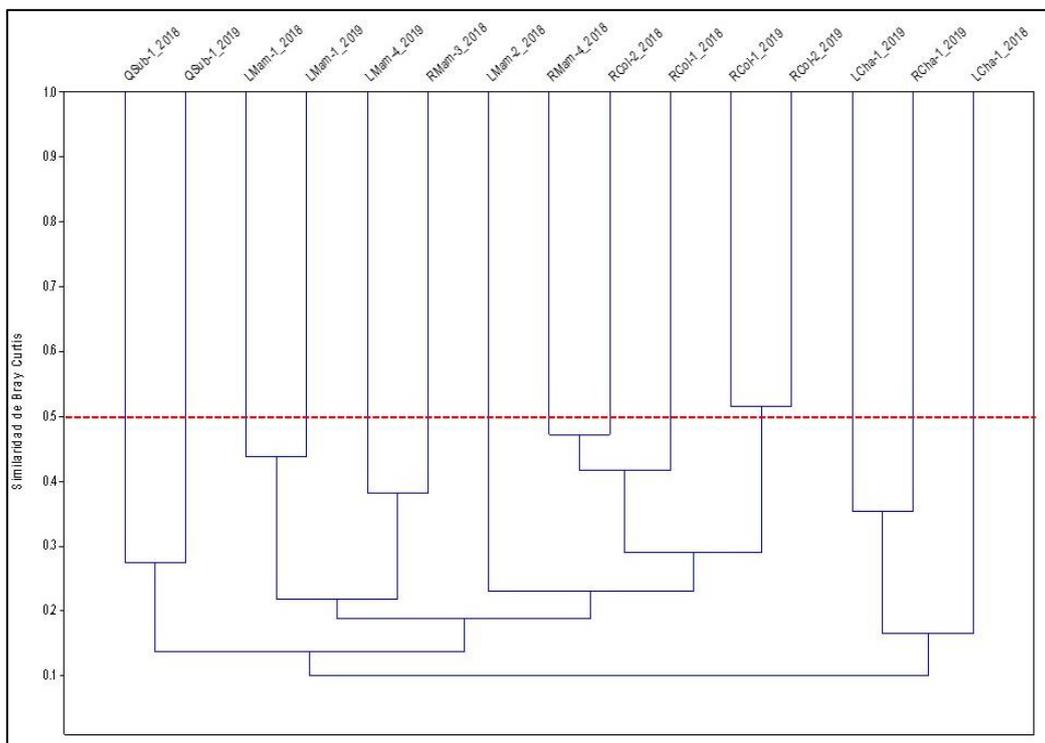


Figura 8.12. Dendrograma de similaridad de Bray Curtis de perifiton vegetal, en las evaluaciones de 2018 y 2019

B.2. Perifiton animal

a) Composición, riqueza y abundancia

En la Tabla 8.7 se presentan los valores de riqueza y abundancia del perifiton animal por punto de muestreo.

En la evaluación de 2018, se evidenció la presencia de los phyla Cercozoa y Rotifera, con 2 y 1 especies, respectivamente. La especie *Euglypha rotunda* fue registrada en los puntos LMam-1 y LMam-2 con 32 y 16 organismos, respectivamente; mientras que, la especie *Trinema lineare* fue registrada en el punto LMam-2 con 24 organismos y en el punto LMam-1 se encontró a *Lecane closterocerca* con 8 organismos. En los puntos LCha-1, QSub-1, RMam-4, RCol-1, RCol-2 y RMam-3 no se registraron organismos del perifiton animal.

En la evaluación de 2019, se evidenció la presencia de 4 phyla: Cercozoa, Amoebozoa, Rotífera y Nematoda. En el punto LMam-4 se registró la mayor riqueza y abundancia con 4 especies y 80 organismos, respectivamente. En los puntos QSub-1 y RCol-1 se registraron las especies *Trinema lineare* (8 organismos) y *Centropyxis aculeata* (16 organismos), respectivamente. En los puntos LCha-1, RCha-1, LMam-1 y RCol-2 no se registraron organismos del perifiton animal.



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

Tabla 8.7. Diversidad alfa del perifiton vegetal por punto de muestreo en las evaluaciones de 2018 y 2019

Phylum	Riqueza (Taxón)	LCha-1		RCha-1		QSub-1		LMam-1		LMam-2		LMam-4		RMam-4		RCol-1		RCol-2		RMam-3	
		2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019
Cercozoa	<i>Euglypha rotunda</i>	0	0	NE	0	0	0	32	0	16	NE	NE	0	0	NE	0	0	0	0	0	NE
Cercozoa	<i>Trinema lineare</i>	0	0	NE	0	0	8	0	0	24	NE	NE	0	0	NE	0	0	0	0	0	NE
Amoebozoa	<i>Centropyxis aculeata</i>	0	0	NE	0	0	0	0	0	0	NE	NE	0	0	NE	0	16	0	0	0	NE
Rotífera	<i>Trichocerca gracilis</i>	0	0	NE	0	0	0	0	0	0	NE	NE	32	0	NE	0	0	0	0	0	NE
Rotífera	<i>Colurella sp.</i>	0	0	NE	0	0	0	0	0	0	NE	NE	24	0	NE	0	0	0	0	0	NE
Rotífera	<i>Lecane closterocerca</i>	0	0	NE	0	0	0	8	0	0	NE	NE	16	0	NE	0	0	0	0	0	NE
Nematoda	"Nematoda 1 "	0	0	NE	0	0	0	0	0	0	NE	NE	8	0	NE	0	0	0	0	0	NE
S (Total de taxones)		0	0	NE	0	0	1	2	0	2	NE	NE	4	0	NE	0	1	0	0	0	NE
N (abundancia)		0	0	NE	0	0	8	40	0	40	NE	NE	80	0	NE	0	16	0	0	0	NE

NE: no evaluado



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

C. Macrobenetos

En la evaluación de 2018, se registraron 23 taxones de macrobenetos, siendo el orden Ephemeroptera el mejor representado, con 7 taxones (30,43 % del total de taxones), seguido de Diptera con 6 taxones y los demás órdenes registraron menos de o igual a 2 taxones cada uno.

Mientras que, en la evaluación de 2019, se registraron 14 taxones de macrobenetos, siendo el orden Ephemeroptera el mejor representado, con 6 taxones (42,86 % del total de taxones), seguido de Diptera con 4 taxones; en tanto que, los demás órdenes registraron menos de o igual a 2 taxones cada uno (Figura 8.13).

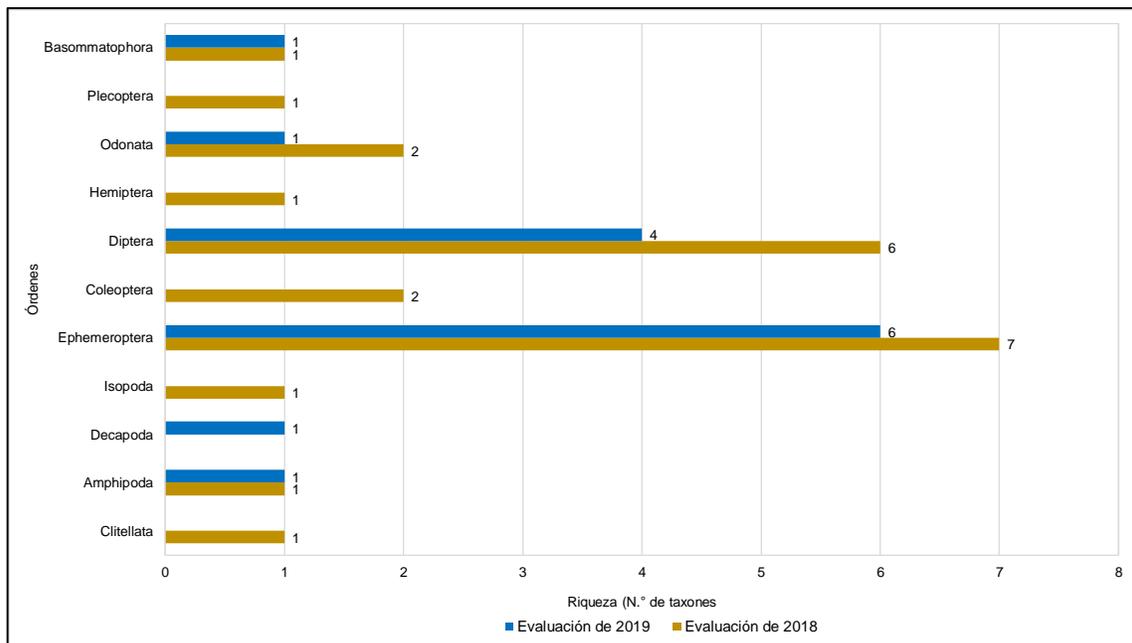


Figura 8.13. Riqueza de taxones por órdenes de macrobenetos en las evaluaciones de 2018 y 2019

Es importante indicar que se hará una separación de ambientes acuáticos evaluados debido a que los tipos de red varió en cada ambiente evaluado. En ambientes léntico o aguas quietas la captura fue red Dnet en un área de colecta de 10 m² y en lóticos o aguas corridas con red Surber y un área de 0,27 m².

a) Composición, riqueza y abundancia

En los ambientes lénticos evaluados se registraron 17 especies distribuidas en 8 de 11 órdenes registrados. Se observó una mayor riqueza del orden Ephemeroptera con 6 taxones; siendo, la especie más frecuente *Baetodes* sp. En los ambientes lóticos la riqueza fue de 18 especies distribuidos en 6 órdenes. En ambos ambientes, el orden con mayor riqueza fue Ephemeroptera con 7 taxones, seguido tenemos al orden Diptera con 6 taxones, siendo el grupo más frecuente la Subfamilia Chironominae (Figura 8.14).



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

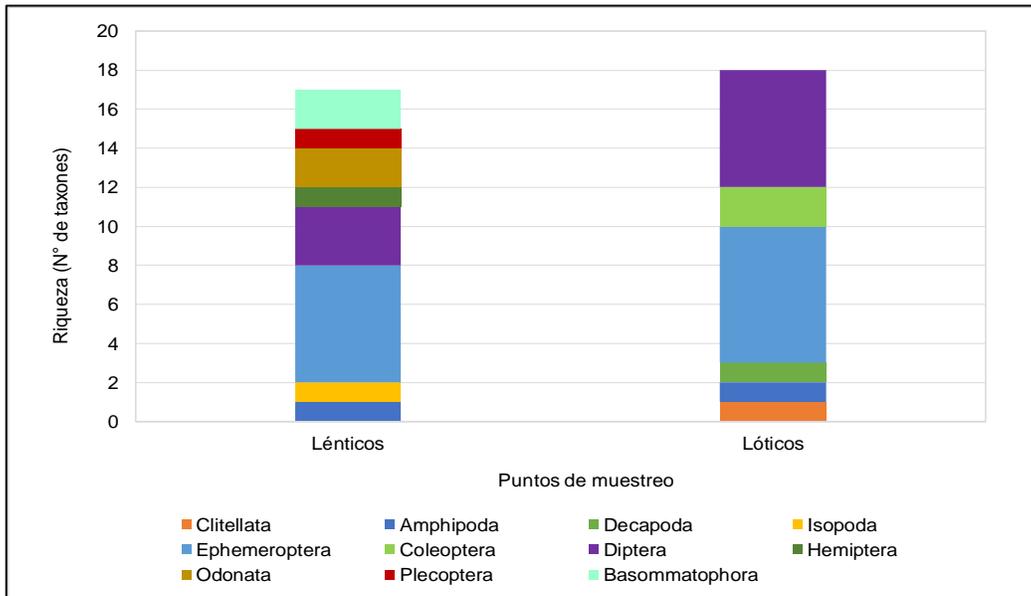


Figura 8.14. Comparación de la riqueza de taxones de macrobentos por punto de muestreo y orden, en las evaluaciones de 2018 y 2019

En los 2 puntos de muestreo evaluados en ambientes lénticos, el valor de la riqueza en la evaluación de 2018 fue más alto en el punto LMam-2 con 9 taxones y presentó 5 de los 8 órdenes registrados en su composición comunitaria y en el punto LMam-3 se encontraron 6 taxones distribuidos en 4 órdenes. Asimismo, en la evaluación 2019 en el punto LMam-2 registró la mayor riqueza con 6 taxones; mientras que en el punto LMam-3 la riqueza fue de 5 taxones, pero se observó una mayor composición comunitaria encontrándose 4 órdenes.

En las evaluaciones de 2018 y 2019 estuvo presente el orden Ephemeroptera y la riqueza fue menor en la evaluación de 2019 en el punto LMam-2 (Figura 8.15).

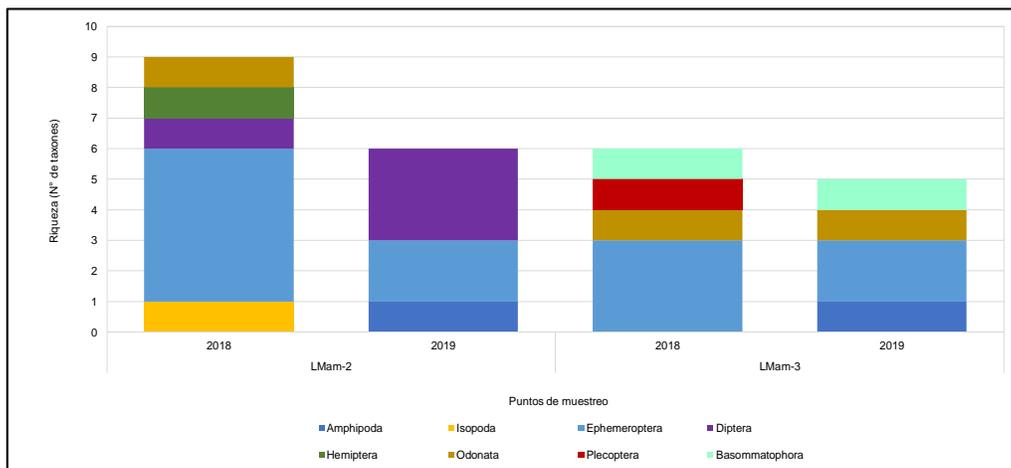


Figura 8.15. Comparación de la riqueza de taxones de macrobentos por punto de muestreo y orden en lagunas, en las evaluaciones de 2018 y 2019

(*) No evaluado



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

Se evaluaron 9 puntos de muestreo en ambientes lóticos y la riqueza varió de 2 a 9 taxones. En la evaluación de 2018 se encontró la mayor riqueza en el punto LCha-1 con 9 taxones distribuidos en 3 órdenes y la menor riqueza se registró en el punto LMam-1 con 2 taxones que corresponden a los órdenes Amphipoda y Ephemeroptera. En todos los puntos estuvo presente el orden Ephemeroptera y en los puntos LCha-1, RMam-4 y RCol-2 la riqueza fue mayor que en los otros puntos evaluados.

En la evaluación de 2019, la riqueza varió de 0 a 5 taxones por punto. En todos los puntos de muestreo estuvo presente el orden Diptera y en el punto RCol-2 se evidenció la presencia del orden Coleoptera. En el punto RCol-1 se encontró la mejor estructura comunitaria con 4 de 11 órdenes registrados. En todos los puntos está presente el orden Ephemeroptera y en algunos puntos registró una mayor riqueza excepto en los puntos QSub-1, LMam-1, RMam-3 y RCol-1 (Figura 8.16).

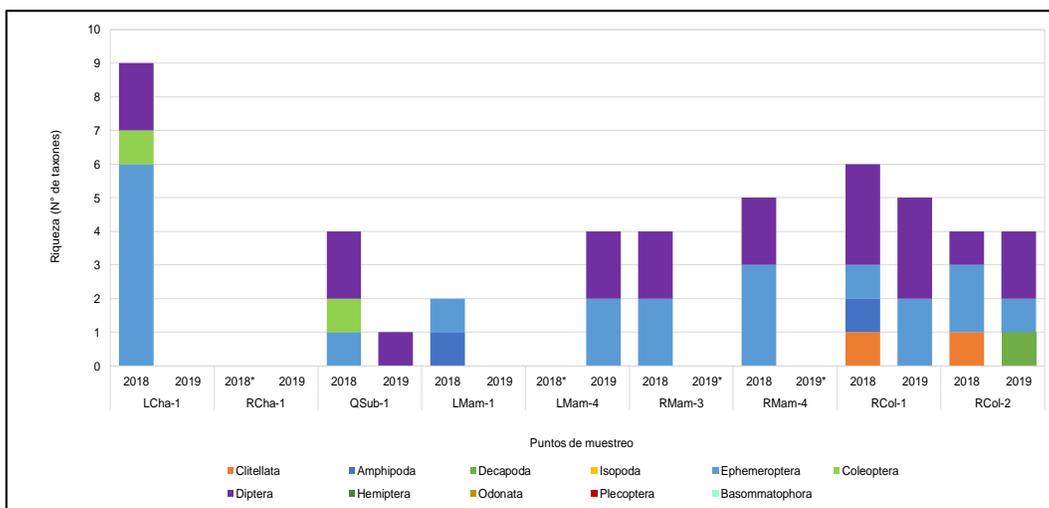


Figura 8.16. Comparación de la riqueza de taxones de macrobentos por punto de muestreo y orden en ríos y quebradas, en las evaluaciones de 2018 y 2019
(*) No evaluado

b) Abundancia

En los ambientes lénticos evaluados se registraron 937 individuos, siendo los órdenes Ephemeroptera y Diptera los más abundantes con 511 y 324 individuos; respectivamente. Los demás órdenes registrados tuvieron una abundancia menor a 100 individuos. En los ambientes lóticos, la abundancia fue menor encontrándose 27 individuos y se cumple la misma tendencia donde los órdenes Ephemeroptera y Diptera son los más abundantes con 13 y 4 individuos, respectivamente (Figura 8.17).



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

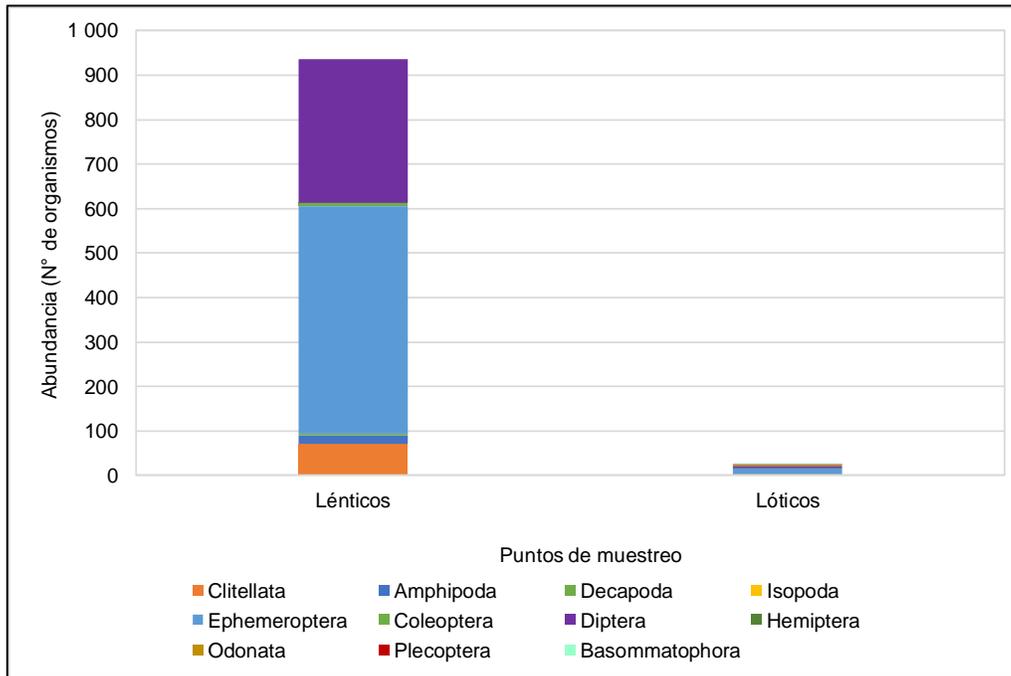


Figura 8.17. Comparación de la abundancia de macrobentos por punto de muestreo y orden en ríos y quebradas, en las evaluaciones de 2018 y 2019

Respecto a la relación entre los puntos de muestreo evaluados en 2018 y 2019, el orden Ephemeroptera registró la mayor abundancia en la evaluación de 2018, con 6 organismos; mientras que, en la evaluación de 2019, el orden Díptera registró la mayor abundancia, con 3 organismos, seguido del orden Ephemeroptera con 2 organismos.

En la evaluación de 2018, el punto de muestreo LMam-2 registró la mayor abundancia con un predominio del orden Ephemeroptera y en la evaluación de 2019, el orden Diptera fue dominante (Figura 8.18).



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

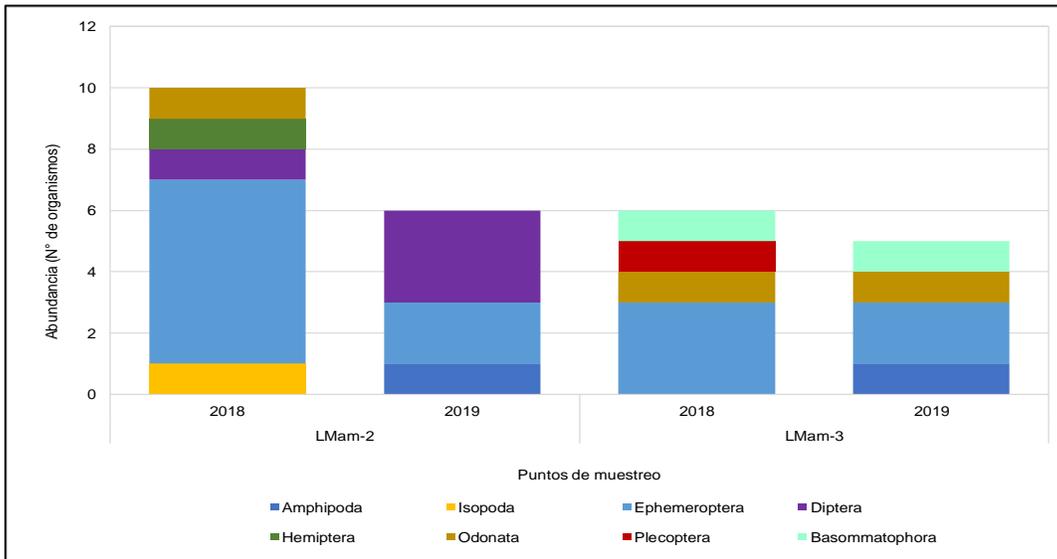


Figura 8.18. Comparación de la abundancia de macrobentos por punto de muestreo y orden en lagunas, en las evaluaciones de 2018 y 2019 (*) No evaluado

En la evaluación de 2018 el punto de muestreo LCha-1 registró la mayor abundancia, con un predominio del orden Ephemeroptera. Además, en los puntos RCol-1 y RCol-2 presentaron dominancia de organismos del orden Diptera; mientras que, en la evaluación de 2019, el punto LMam-4 registró la mayor abundancia, con un predominio de organismos del orden Diptera (Figura 8.19).

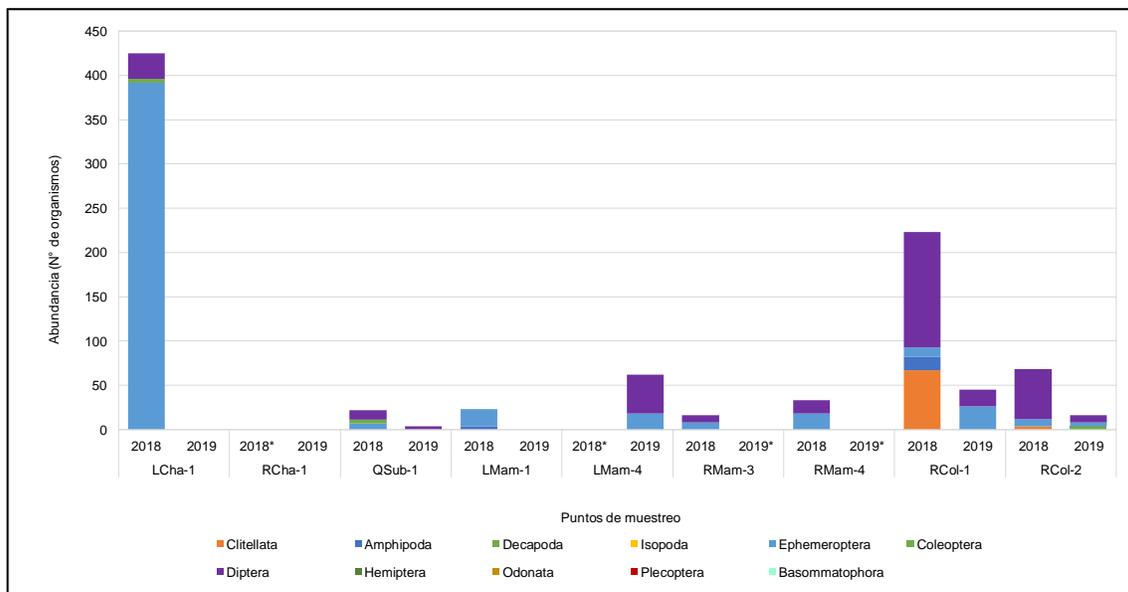


Figura 8.19. Comparación de la abundancia de macrobentos por punto de muestreo en ríos y quebradas, en las evaluaciones de 2018 y 2019 (*) No evaluado

**c) Diversidad alfa**

En base a la riqueza de taxones y abundancia, en la Tabla 8.8 se detallan los valores del índice de diversidad de Hill (N1), índice de Simpson (1-D) y equidad de Pielou (J') para cada punto de muestreo, en las evaluaciones de 2018 y 2019.

En la evaluación 2018, el máximo valor de N1 se registró en el punto de muestreo LMam-2 (8,71); así también, el máximo valor de equidad de Pielou se encontró en los puntos LMam-3 y RMam-3 (1,00) y para el índice de Simpson se registró en el punto LMam-3 (1,00); así también, el mínimo valor de N1 e índice de Simpson se registraron en el punto LMam-1 y la equidad de Pielou fue en el punto RCol-2.

En la evaluación de 2019, los máximos valores de N1, equidad de Pielou e índice de Simpson fueron registrados en el punto LMam-2. Además, la equidad de Pielou e índice de Simpson también registraron valores altos en los puntos LMam-3 con valores de 1,00. La equidad de Pielou también registró un valor alto en el punto RCol-2. Por otro lado, los valores más bajos en los índices N1, equidad de Pielou e índice de Simpson fueron registrados en los puntos QSub-1, RCol.1 y LMam-4 con valores de 1,00, 0,89 y 0,60, respectivamente.

Los altos valores del índice de Simpson en ambas evaluaciones (2018 y 2019) nos indican que la diversidad es alta y no existe dominancia de alguna especie, lo cual sugiere una distribución homogénea de las abundancias de los organismos registrados en estos puntos, excepto en el punto LMam-1 de la evaluación 2018 donde solo se registraron 2 especies siendo la especie *Baetodes sp.* dominante por ser la más abundante con 19 organismos.

Tabla 8.8. Diversidad alfa del macrobentos por punto de muestreo en las evaluaciones de 2018 y 2019

Puntos de muestreo	N1	N1	J'	J'	1-D	1-D
Período de evaluación	2018	2019	2018	2019	2018	2019
LMam-2	8,71	6,00	0,98	1,00	0,98	1,00
LMam-3	6,00	5,00	1,00	1,00	1,00	1,00
LCha-1	5,46	0	0,77	0	0,76	0
RCha-1	NE	0	NE	0	NE	0
QSub-1	3,85	1,00	0,97	0	0,77	0
LMam-1	1,59	0	0,67	0	0,30	0
LMam-4	NE	3,03	NE	0,80	NE	0,60
RMam-3	4,00	NE	1,00	NE	0,80	NE
RMam-4	4,64	NE	0,95	NE	0,79	NE
RCol-1	4,20	4,17	0,80	0,89	0,71	0,74
RCol-2	1,94	4,00	0,48	1,00	0,32	0,80

NE: no evaluado

Valores máximos de índices de diversidad alfa
 Valores mínimos de índices de diversidad alfa



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

d) Diversidad beta

El dendograma de similitud de Bray Curtis para la comunidad de macrobentos, permitió conformar 4 agrupaciones, de los cuales, 3 superan el porcentaje de similitud del 50 %, la primera agrupación está conformada por los puntos de muestreo LMam-3 (2018) y RCol-2 (2019) teniendo en común 2 taxones; la segunda conformada por los puntos LMam-2 y LMam-3 en la evaluación de 2019 con 3 taxones en común; y la última agrupación tiene los puntos LMam-4 (2019) y RCol-2 (2018) donde estos tienen en común 2 taxones representados por los órdenes Ephemeroptera y Diptera (Figura 8.20).

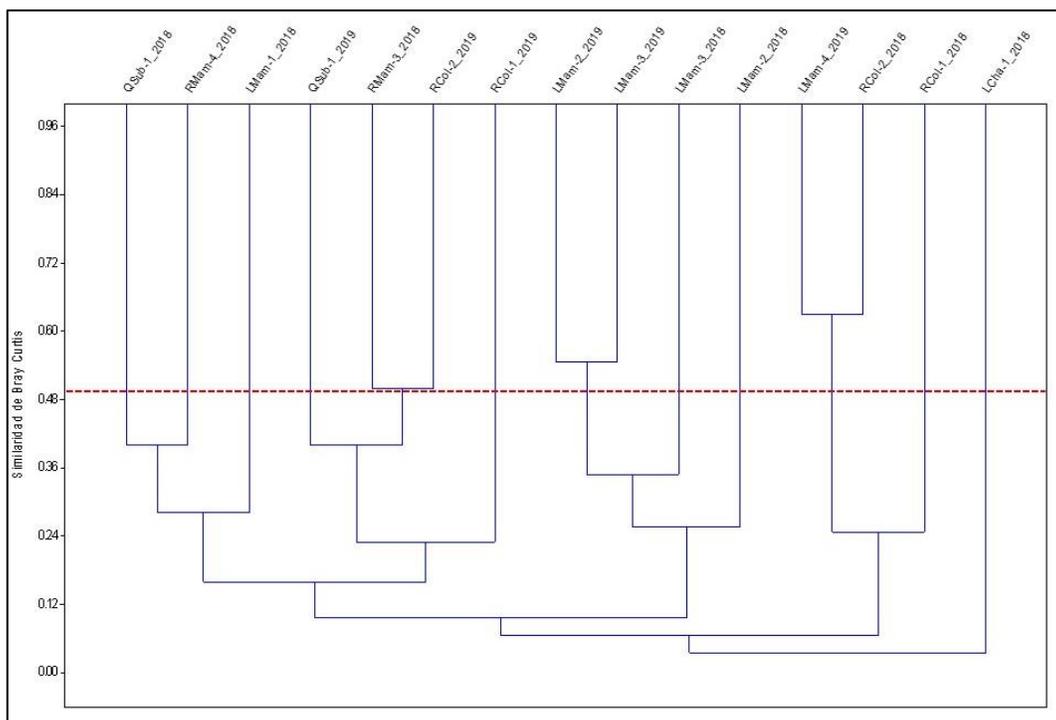


Figura 8.20. Dendograma de similitud de Bray Curtis de macrobentos, en las evaluaciones de 2018 y 2019

e) Calidad ecológica

Considerando las evaluaciones de 2018 y 2019, en la Tabla 8.9 se presenta la calidad ecológica de las quebradas y ríos evaluados que estuvieron por encima de los 2000 m s.n.m. es importante indicar que el punto LCha-1 de la evaluación 2019 se consideró como ambiente lótico. Los resultados de este análisis deben tomarse de forma referencial, puesto que el método original exige un muestreo multihábitat de naturaleza cualitativa.

En cuanto a los resultados de calidad ecológica, se observa que en la evaluación de 2018 en el punto de muestreo QSub-1 la calidad ecológica es mala y en la evaluación 2019 los 3 puntos evaluados presentan una calidad ecológica pésima. La calidad biológica presenta resultados similares que los de la calidad ecológica; mientras que la calidad hidromorfológica varía su calidad entre moderada y mala.



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

Tabla 8.9. Calidad ecológica de acuerdo con el protocolo CERA-S

Punto de muestreo	Calidad hidromorfológica		Calidad biológica		Calidad ecológica	
			(índice ABI)			
	2018	2019	2018	2019	2018	2019
LCha-1	---	Mala	---	Pésima	---	Pésima
RCha-1	---	Moderada	---	Pésima	---	Pésima
QSub-1	Moderada	Moderada	Mala	Pésima	Mala	Pésima

C. Peces

La colecta de peces solo tuvo lugar en la evaluación de 2019. La pesca se realizó con 5 tipos de arte de pesca: 2 pasivos y 3 activos. Dentro de la pesca pasiva se utilizó una red de espera por un mínimo de 3 horas y con anzuelo por un tiempo mínimo de media hora, en los puntos LMam-2 y LMam-3. Por otro lado, la pesca activa se realizó con una red de arrastre con 5 intentos en el punto LMam-1; con una red de lance o atarraya con 10 intentos y con red de mano o cal-cal en los puntos LMam-4, RCol-1, RCol-2, RCha-1, LCha-1, QSub-1.

A pesar de los intentos realizados en todos los puntos de muestreo, la captura de peces solo fue efectiva en los puntos LMam-2, LMam-3, RCol-1 y RCol-2 encontrándose la especie *Basilichthys semotilus* que pertenece al Orden Atheriniformes y familia Atherinopsidae, llamada comúnmente «pejerrey de río» o «pejerrey andino». Su abundancia fue de 5 individuos, registrándose un solo individuo en cada punto excepto en el punto LMam-3 donde se registraron 2 ejemplares. Cabe precisar que los ejemplares más grandes se les realizó la disección para obtener el tejido muscular y enviarla a analizar para obtener valores de metales.

Es importante indicar que a pesar que no se capturaron gran cantidad de peces fue posible fotografiar y filmar la abundancia de ellos bajo el agua. Además, se observó la gran cantidad de algas en el fondo de la laguna que servirían de alimento a estos peces.

a) Metales totales en tejido muscular

El análisis de metales totales en tejido muscular de pejerrey (*B. semotilus*) está basado en las muestras colectadas en los puntos LMam-2 y LMam-3 de la evaluación 2019, ver Tabla 8.10 y mayor detalle en el Anexo 5.

Los análisis de las muestras de tejido muscular de peces corresponden a la laguna Mamacocha. Los metales analizados que cuentan con límites estándares definidos en la legislación internacional son el arsénico, cadmio, cobre, mercurio, plomo, selenio y zinc. Los resultados para las muestras de tejido muscular fueron comparados con las referencias internacionales CFIA, Anvisa y US-EPA y no se encontraron valores que superan estas normas referenciales.



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

Tabla 8.10. Concentración de metales en tejido muscular de peces de la evaluación 2019

Analito	Unidad	2019		Estándares de referencia		
		LMam-2 Tej1	LMam-3 Tej2	CFIA, 2007 ^(a)	Anvisa ^(b)	USEPA ^(c)
Arsénico (As)	mg/Kg	0,0690	0,0502	<3.5	1	0,1
Cadmio (Cd)		< 0,0001	< 0,0001	-	1	0,5
Cobre (Cu)		0,319	0,247	-	-	10
Mercurio (Hg)		< 0,0004	< 0,0004	0,5	1	0,049
Plomo (Pb)		< 0,003	< 0,003	<0.5	2	0,5
Selenio (Se)		0,594	0,906	-	-	2,457
Zinc (Zn)		14,90	15,40	-	-	30

^(a) Límites de Canadian Food Inspection Agency (<http://www.inspection.gc.ca/english/anima/fispoi/guide/chme.shtml>).

^(b) Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Princípios Gerais para o Estabelecimento de Níveis Máximos de Contaminantes Químicos em Alimentos.

^(c) Los valores de Selección de Subsistencia están basados en la tasa de ingestión de 142,4 g/d, 70 kg peso del cuerpo humano y tiempo de vida de 70 años (USEPA, 2000).

8.3.2. Evaluación hidroquímica

Previo a la evaluación de los diagramas hidroquímicos, se evaluó la relación de iones y sólidos disueltos con la conductividad y luego el error de balance iónico (EBI) para todos los cuerpos de agua evaluados (octubre de 2018 y mayo de 2019).

Los diagramas hidroquímicos se realizaron para todos los cuerpos de agua: manantiales, canales, quebradas, lagunas y el río Colca, por medio de las concentraciones en meq/L de los metales en su forma disuelta (cationes): calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), potasio (K^+) y sodio (Na^+), y los 4 aniones: fluoruros (F^-), sulfatos (SO_4^{2-}), cloruros (Cl^-) y bicarbonatos (HCO_3^-).

8.3.2.1. Relaciones de los iones y sólidos disueltos con la conductividad

En esta subsección, se presenta los gráficos de dispersión en los que se muestra la relación lineal de las concentraciones de los sólidos disueltos totales (SDT) con los valores de la conductividad de todos los puntos de muestreo.

En base a dicho resultado, se calcularon las relaciones lineales respectivas. Estas relaciones estuvieron indicadas por el cuadrado del coeficiente de correlación de Pearson o coeficiente de determinación (R^2), para lo cual se ha considerado un valor de R^2 mayor a 0,95 como un indicador de buena correlación entre los parámetros.

De esa manera, en la Figura 8.21 se muestra la relación lineal entre la conductividad y los SDT en los cuerpos de agua evaluados con un R^2 de 0,9706, por lo que se puede observar una buena correlación entre los parámetros para ambas temporadas ($R^2 > 0,95$).



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

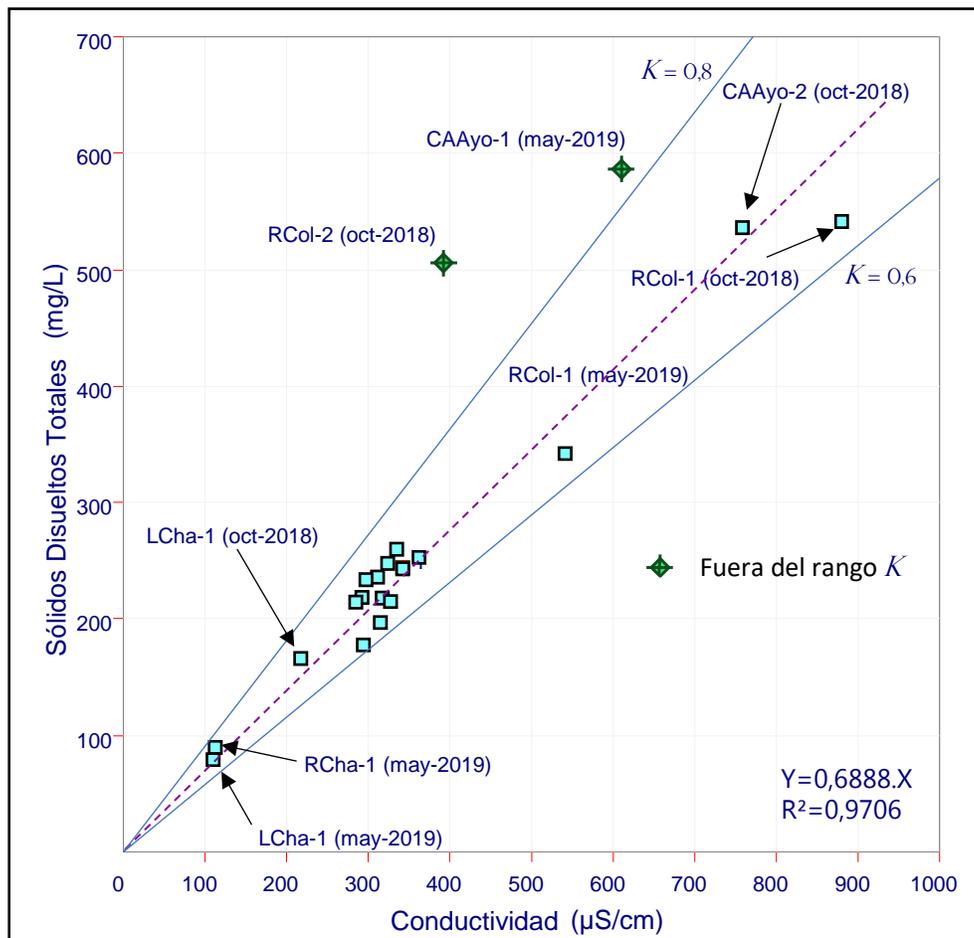


Figura 8.21. Relación lineal entre la conductividad y los sólidos disueltos totales (SDT) de los puntos de muestreo evaluados en octubre de 2018 y mayo de 2019

Asimismo, los valores de las pendientes k (TDS/Conductividad) estuvieron de 0,6 a 0,8, excepto para RCol-2 (río Colca) y CAAYo-1 (canal de riego Ayo) con valor K de 1,288 y 0,961 respectivamente; el cual está en el rango aproximado de 0,65 a 0,8 según lo establecido referencialmente por Walton (1989) para el agua dulce (Figura 8.21).

8.3.2.2. Relación de conductividad y suma de aniones y cationes

Para el caso de la relación lineal entre la conductividad y la suma de cationes³¹ para ambas temporadas, se obtuvo la Ecuación 8.1 de acuerdo a la relación línea indicada en la Figura 8.22 (R^2 de 0,9944).

$$\text{Conductividad } (\mu\text{S}/\text{cm}) = 0,0094 * \text{Suma de cationes } (\text{meq}/\text{L}) \quad (8.1)$$

³¹ Para la suma de cationes, en adición a los principales: calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), sodio (Na^+) y potasio (K^+), se consideraron los iones hidronio del pH (H_3O^+) y los iones de los metales disueltos: aluminio (Al^{3+}), hierro (Fe^{2+}), manganeso (Mn^{2+}), bario (Ba^{2+}), boro (B^{3+}), estroncio (Sr^{2+}) y litio (Li^+).

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

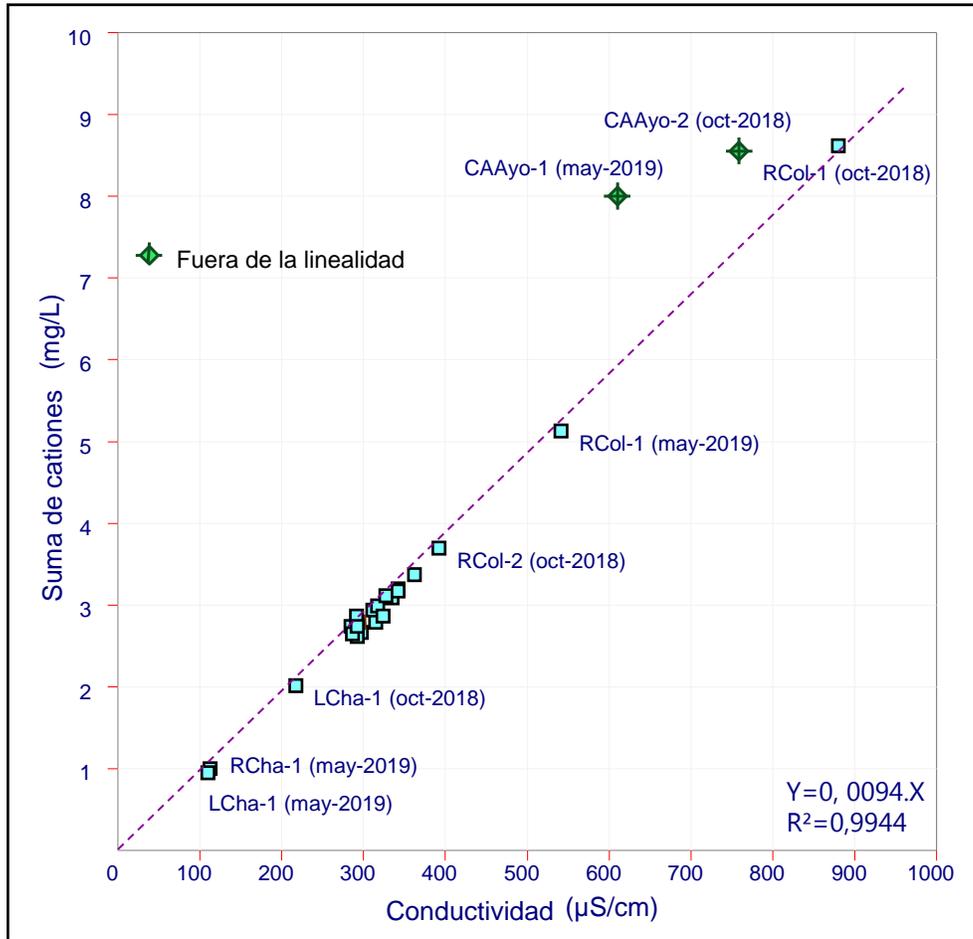


Figura 8.22. Relación lineal entre la conductividad y la suma de cationes de los puntos de muestreo evaluados en octubre de 2018 y mayo de 2019

Para el caso de la relación lineal entre la conductividad y la suma de aniones³² para ambas temporadas, se obtuvo la Ecuación 8.2 de acuerdo con la relación línea indicada en la Figura 8.22 (R^2 de 0,9944).

$$\text{Conductividad } (\mu\text{S/cm}) = 0,0098 * \text{Suma de aniones (meq/L)} \quad (8.2)$$

La pendiente de las relaciones de cationes y aniones con la conductividad, con un R^2 mayor a 0,99, se encuentra en el rango de 0,009 – 0,011 de acuerdo con la Ecuación 8.2 de la APHA, por lo que sugieren una buena relación entre dichos parámetros; no considerando para ello los 2 puntos de muestreo del canal de riego Ayo (CAAyo-1 y CAAyo-2) por estar fuera de la linealidad.

³² Los aniones considerados son: cloruros (Cl^-), sulfatos, (SO_4^-), fluoruros (F^-) y bicarbonatos (HCO_3^-).



8.3.2.3. Relación de los sólidos disueltos totales (SDT) calculado y medido

La relación lineal entre los SDT calculado, obtenido a partir de la Ecuación 7.9, y medido para ambas temporadas se muestra en la Ecuación 8.3 de acuerdo a la Figura 8.8 ($R^2=0,9821$).

$$SDT \text{ calculado (mg/L)} = 0,9969 * SDT \text{ medido (mg/L)} \quad (8.3)$$

La pendiente M fue de 0,9969, que es cercana al valor mínimo del rango de 1 y 1,2 de acuerdo a la Ecuación 6.4 de la APHA con un R^2 de $> 0,95$; por lo que se considera que el grupo de parámetros tiene una buena relación para ambas temporadas.

Cabe señalar que el rango de pendiente considerado para el presente estudio fue de 0,95 a 1,24³³, por lo que para el cálculo de la pendiente no se consideró a RCol-2 del río Colca evaluado en octubre de 2018 debido a que su valor de M con 1,90 es mayor a 1,24.

Además, 4 puntos de muestreo evaluados en octubre de 2018: Laguna Mamacocha en LMam-2, canal de la microcentral Ayo en DMCA-1 y río Mamacocha en RMam-4 y en mayo de 2019: Quebrada Subna en QSub-1 también estuvieron fuera del citado rango, no obstante, si fueron considerados para el cálculo de la pendiente M .

³³ Se amplió el rango de 0,95 a 1,24 en relación al redondeado de las pendientes a una décima en la cota mínima (1,0): 0,95 a 0,99 y en la cota máxima (1,2): 1,24 a 1,21.



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

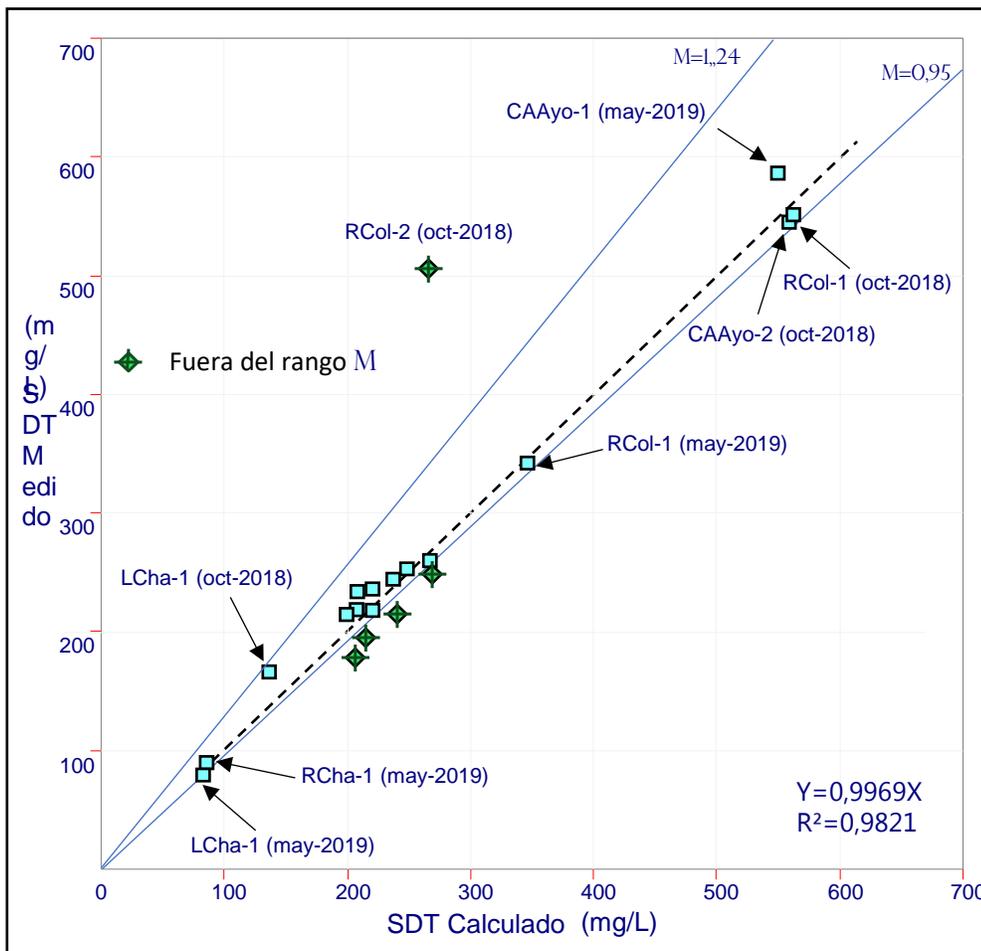


Figura 8.23. Relación lineal entre los sólidos disueltos totales (SDT) calculado y medido de los puntos de muestreo evaluados en octubre de 2018 y mayo de 2019

8.3.2.4. Error balance iónico (EBI)

El EBI se calculó tomando en cuenta los cationes: calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), potasio (K^+), sodio (Na^+), aluminio (Al^{3+}), hierro (Fe^{2+}), manganeso (Mn^{2+}), bario (Ba^{2+}), boro (B^{3+}), estroncio (Sr^{2+}), litio (Li^+), y los iones hidronio (H_3O^+) del pH mediante la fórmula indicada en la Ecuación 8.3 y cuyo valor máximo permitido es del 10 % acorde a Megersa *et al.* (2015)³⁴.

La evaluación registró valores de EBI calculado menores al 10 % en todos los puntos de muestreo (Anexo 6) en un rango de - 5,43 % a -0,04 %, los cuales se compararon con el EBI teórico de acuerdo con la ecuación obtenida (Ecuación 8.3), el cual se establece mediante la

³⁴ Megersa Olumama Dinka, W. L. (2015). Hydrochemical characterization of various surface water and groundwater resources available in Matahara areas, Fantalle Woreda of Oromiya region. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 3, 444-456. doi:10.1016/j.ejrh.2015.02.007.



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

curva potencial (Figura 8.24) con un R^2 de 0,9631. Al respecto, las diferencias (Dif.) (EBI teórico > |EBI calculado|³⁵) fueron positivas.

$$\text{Error de Balance Iónico (EBI) teórico} = 207,55 (\text{Conductividad})^{-0,529} \quad (8.4)$$

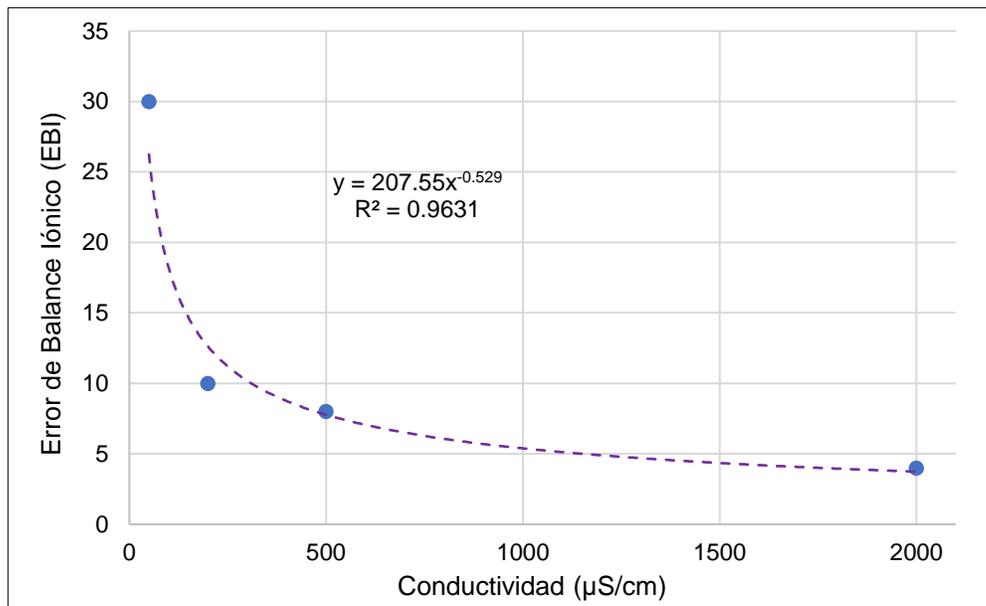


Figura 8.24. Curva potencial obtenida de la relación de conductividad y EBI establecida por Custodio y Llamas, 1976

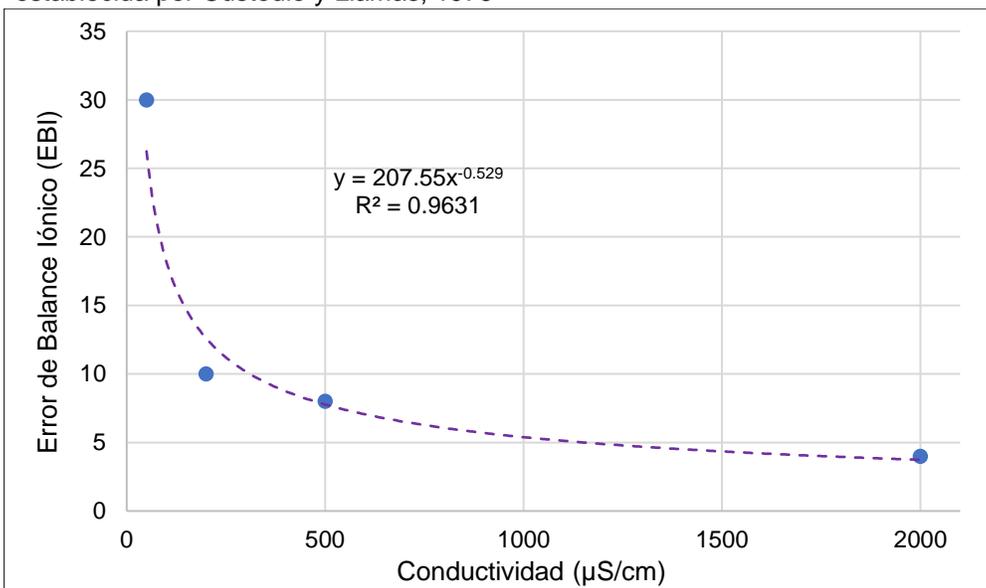


Figura 8.25. Curva potencial obtenida de la relación de conductividad y EBI establecida por Custodio y Llamas, 1976

³⁵ |EBI calculado|: valor absoluto del EBI calculado.



8.3.2.5. Diagrama hidroquímicos

Los diagramas hidroquímicos visualizan la relación entre los sólidos disueltos totales, silicatos, y los principales aniones (SO_4^{2-} , Cl^- y HCO_3^-) y cationes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y Na^+) principalmente mediante gráficos que se proyectan en 2 dimensiones en diferentes formas geométricas como el triangular para el Piper y en ejes paralelos como los diagramas de Stiff, entre otros.

Para establecer las facies hidroquímicas de cada punto de muestreo se tomaron en cuenta los siguientes criterios:

1. Si un ión tiene una concentración mayor al 50 %, entonces tomará el nombre del anión y/o catión; sin embargo, si otro ión tiene más del 40 % o cercano; entonces tomará un nombre compuesto de 2 aniones o cationes unidos por un guión (facie compuesta en la forma aniónica y/o catiónica).
2. Si 2 iones tienen concentraciones menores al 50 %, entonces tomará un nombre único (un anión y/o catión) o compuesto (2 cationes y/o aniones) con aquellos cuyas concentraciones son mayores a 40 % o que la suma de ambos es mayor al 80 %.
3. Si los iones tienen concentraciones menores al 40 %, entonces tomará el nombre compuesto de los 2 mayores porcentajes de aniones y cationes.

Los cálculos de las facies hidroquímicas de octubre de 2018 y mayo de 2019 fueron obtenidos con el programa Diagrammes 6.51 y se encuentran en el Anexo 6. A continuación, se presentan los diagramas hidroquímicos.

8.3.2.4.1. Diagrama de Stiff

De acuerdo con los resultados del diagrama de Stiff (Figura 8.26) y mapas hidroquímicos de ambas temporadas (Anexo 2), se clasificaron los puntos de muestreo en relación con las diferencias de concentraciones en meq/L de los sulfatos (SO_4) y cloruros (Cl), obteniendo los siguientes resultados:

- El canal de riego Ayo (CAAyo-1 y CAAyo-2) registró las mayores concentraciones de sulfatos (SO_4) superiores a 6 meq/L.
- La laguna Chachas (LCha-1) y su descarga en el río Chachas (RCha-1) evaluados en mayo de 2019 registraron las menores concentraciones de sulfatos (SO_4) inferiores a 1 meq/L.
- El río Colca (RCol-1), 100 metros antes de la confluencia con el río Mamacocha, registró las mayores concentraciones de cloruros (Cl) superiores a 1 meq/L.
- Los demás cuerpos de agua registraron concentraciones de sulfatos (SO_4) entre 1 y 3 meq/L, resaltando la quebrada Subna.

Con respecto a la evaluación de las facies hidroquímicas (Anexo 6) y en relación con los criterios previamente indicados, se tiene los siguientes resultados:



Cuerpos de agua que mantuvieron su facie hidroquímica

- Canal de riego Ayo (CAAyo-1 y CAAyo-2) y la quebrada Subna (QSub-1) en octubre de 2018 y mayo de 2019 fueron sulfatada cálcica ($\text{SO}_4\text{-Ca}$).
- El Manantial sin nombre (MSN-1), el canal de la micro central Ayo (DMCA-1) y la laguna Mamacochoa (LMam-1 a LMam-4) en octubre de 2018 y mayo de 2019 fueron bicarbonatada-sulfatada cálcica ($\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca}$) que fue igual que el río Mamacochoa (RMan-2 a RMan-4) en octubre de 2018.

Cuerpos de agua que cambiaron su facie hidroquímica

- Río Colca (RCol-1) en octubre de 2018 fue clorurada-sulfatada sódica-cálcica ($\text{Cl-SO}_4\text{-Na-Ca}$) y en mayo de 2019 cambió a sulfatada-clorurada sódica-cálcica ($\text{SO}_4\text{-Cl-Na-Ca}$).
- Río Colca (RCol-2) en octubre de 2018 fue bicarbonatada-sulfatada cálcica-sódica ($\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca-Na}$) y en mayo de 2019 cambió a sulfatada- bicarbonatada cálcica-sódica ($\text{SO}_4\text{-HCO}_3\text{-Ca-Na}$).
- La Laguna Chachas (LCha-1) en octubre de 2018 fue sulfatada cálcica ($\text{SO}_4\text{-Ca}$) y en mayo de 2019 cambió a bicarbonatada-sulfatada cálcica ($\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca}$) que fue igual a su descarga en el río Chachas (RCha-1).

El cambio espacial más resaltante de las facies hidroquímicas ocurrió en el río Colca, entre los puntos de muestreo ubicado aguas arriba (RCol-1) y abajo (RCol-2) de la confluencia con el río Mamacochoa.

De otro lado, los cambios temporales (disminución de concentración de iones de octubre 2018 a mayo 2019) más sobresalientes de las facies hidroquímicas (Figura 8.26) se observaron en el río Colca (RCol-1) y la laguna Chachas (LCha-1).



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

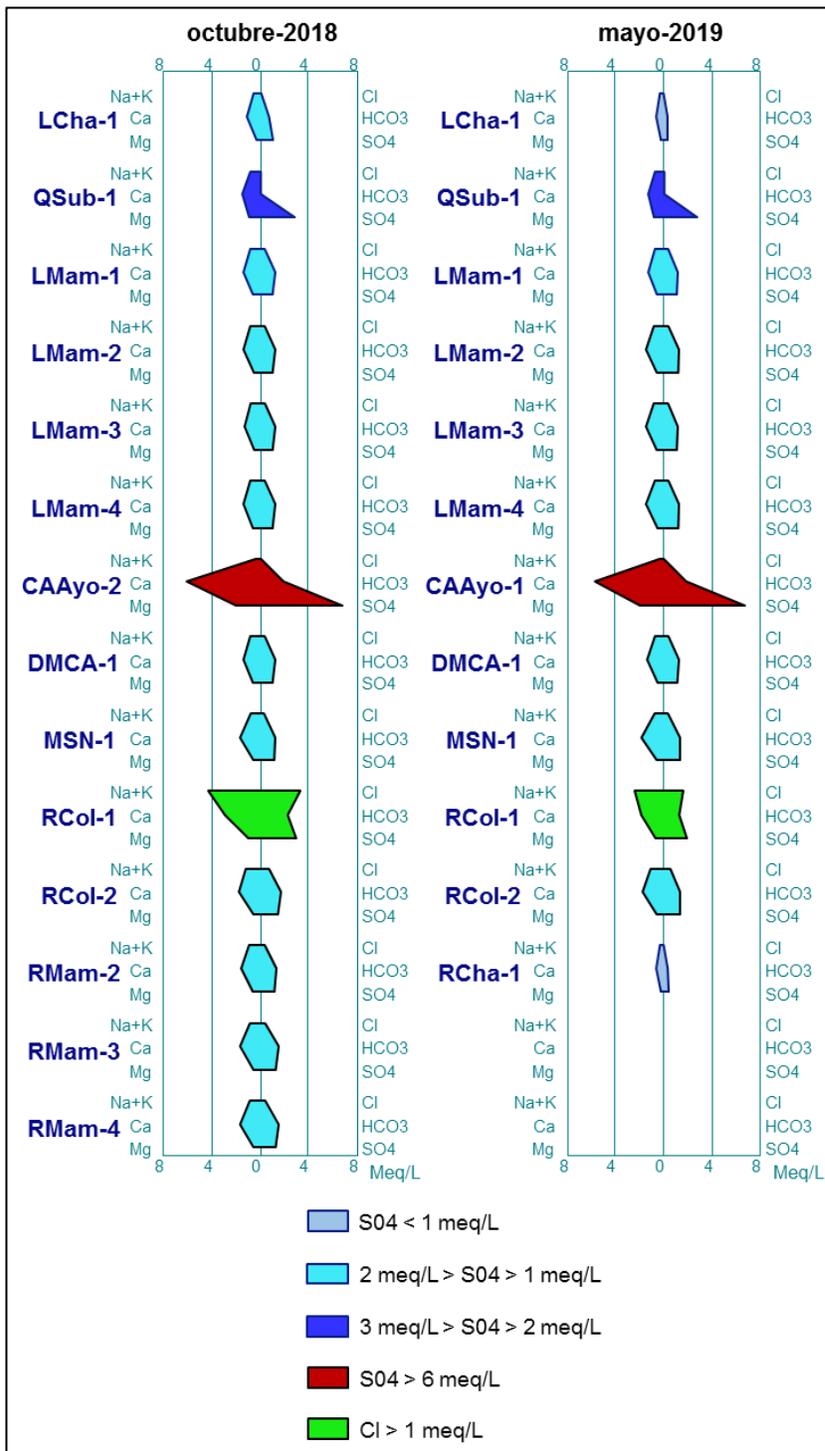


Figura 8.26. Diagrama de Stiff de los puntos de muestreo evaluados en octubre 2018 y mayo 2019



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

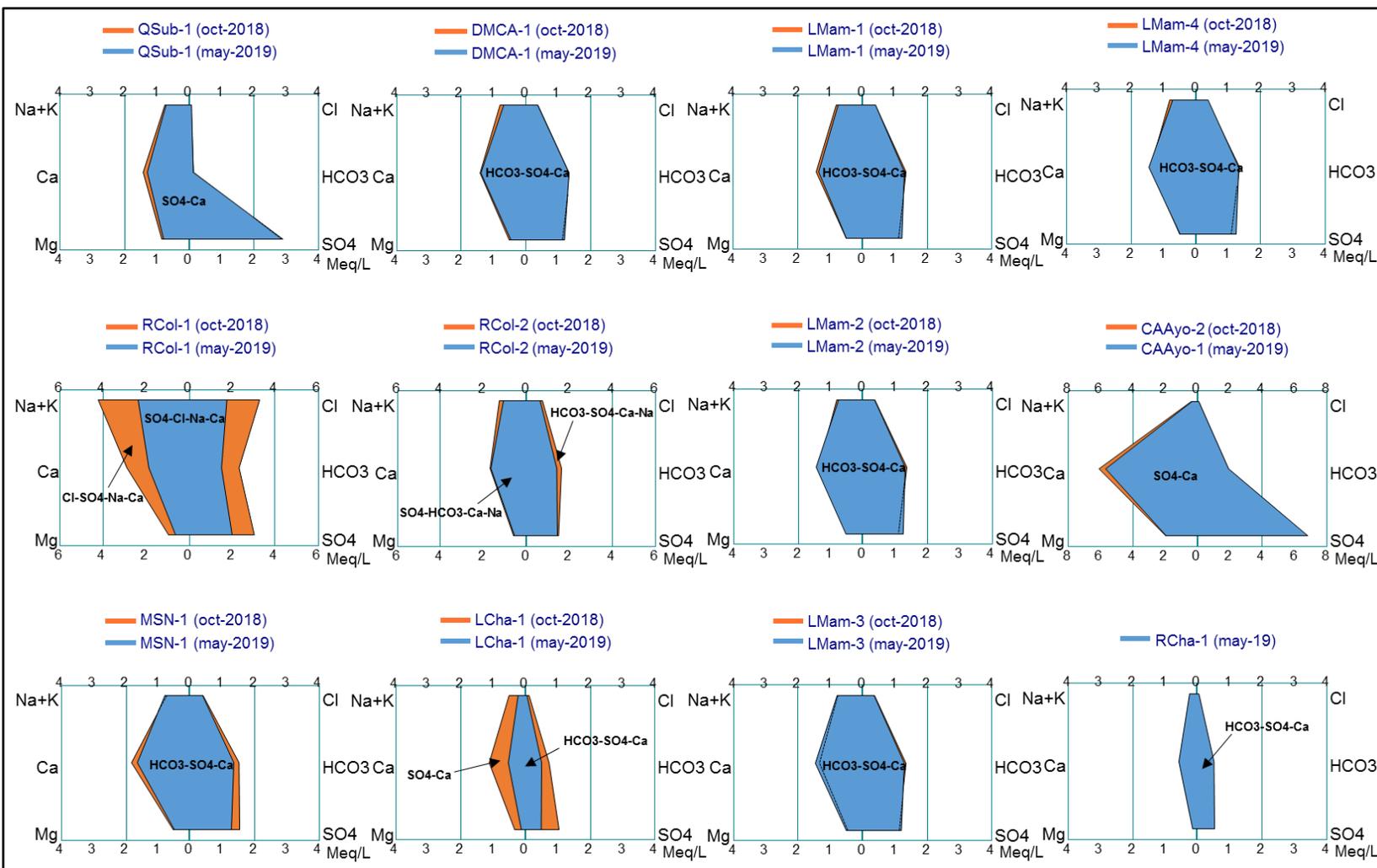


Figura 8.27. Diferencia temporal del diagrama de Stiff de los puntos de muestreo evaluados en octubre 2018 y mayo 2019



8.3.2.4.2. Diagrama de Piper

El diagrama de Piper modificado que se presenta en la Figura 8.28 muestra las diferencias de las relaciones iónicas del canal Ayo (CAAYo-1 y CAAYo-2), la quebrada Subna (QSub-1), el río Colca (RCol-1) con respecto a los demás puntos de muestreo de las lagunas, manantiales y ríos (incluye el río Colca en RCol-2).

Los cambios en la relación de porcentajes observadas en el triángulo de cationes, se observó en el río Colca, que cambió - en octubre de 2018 y mayo de 2019- de sódica-cálcica (Na-Ca) a cálcica-sódica (Ca-Na) de aguas arriba (RCol-1) a aguas abajo (RCol-2) de la confluencia con el río Mamacochoa, respectivamente.

En caso de las relaciones de porcentajes en el triángulo de aniones, se observó que, de octubre de 2018 a mayo de 2019, el río Colca en RCol-1 cambió de clorurada-sulfatada (Cl-SO_4) a sulfatada-clorurada ($\text{SO}_4\text{-Cl}$) cuyos porcentajes variaron de 33,0 a 38,4 % y en RCol-2 cambió de bicarbonatada-sulfatada ($\text{HCO}_3\text{-SO}_4$) a sulfatada-bicarbonatada ($\text{SO}_4\text{-HCO}_3$) cuyos porcentajes variaron de 38,7 a 42,2 %, respectivamente.

Asimismo, la laguna Chachas (LCha-1) cambió de sulfatada (SO_4) a bicarbonatada-sulfatada ($\text{HCO}_3\text{-SO}_4$). Cabe resaltar, que, en mayo de 2019, la laguna Chachas cambió a sulfatada-bicarbonatada ($\text{SO}_4\text{-HCO}_3$) en su descarga en el río Chachas (RCha-1), cuyos porcentajes de los citados aniones variaron de 46,5 a 49,1% (Anexo 6).

De otro lado, el diagrama de Piper muestra circunferencias de cada punto de muestreo cuyo diámetro es igual a 7 veces la concentración de los sólidos disueltos totales (SDT) calculado (ecuación a.b), el cual tiene buena correlación con los SDT medido por el laboratorio de ensayo³⁶.

Al respecto, se muestra que la concentración de los SDT calculado del río Colca (RCol-1) en octubre de 2019 es similar al canal Ayo (CAAYo-1 y CAAYo-2). En tanto, en la quebrada Subna (QSub-1) tuvo aproximadamente la mitad de concentración de los SDT calculado que el canal Ayo, y fue similar a las concentraciones del río Colca (RCol-2) en ambas temporadas.

Además, otra observación importante es la disminución de los SDT calculado en el río Colca de octubre de 2018 a mayo de 2019, mientras que las menores concentraciones de SDT se observaron en la laguna chachas (LCha-1) en ambas temporadas y en su descarga en el río Chachas (RCha-1) en mayo de 2019.

³⁶ Los sólidos disueltos totales (SDT) calculado esta relacionado linealmente con los SDT medido mediante la Ecuación 8.3 con un R^2 mayor a 0,95.



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA

SSIM: Subdirección de Sitios Impactados

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

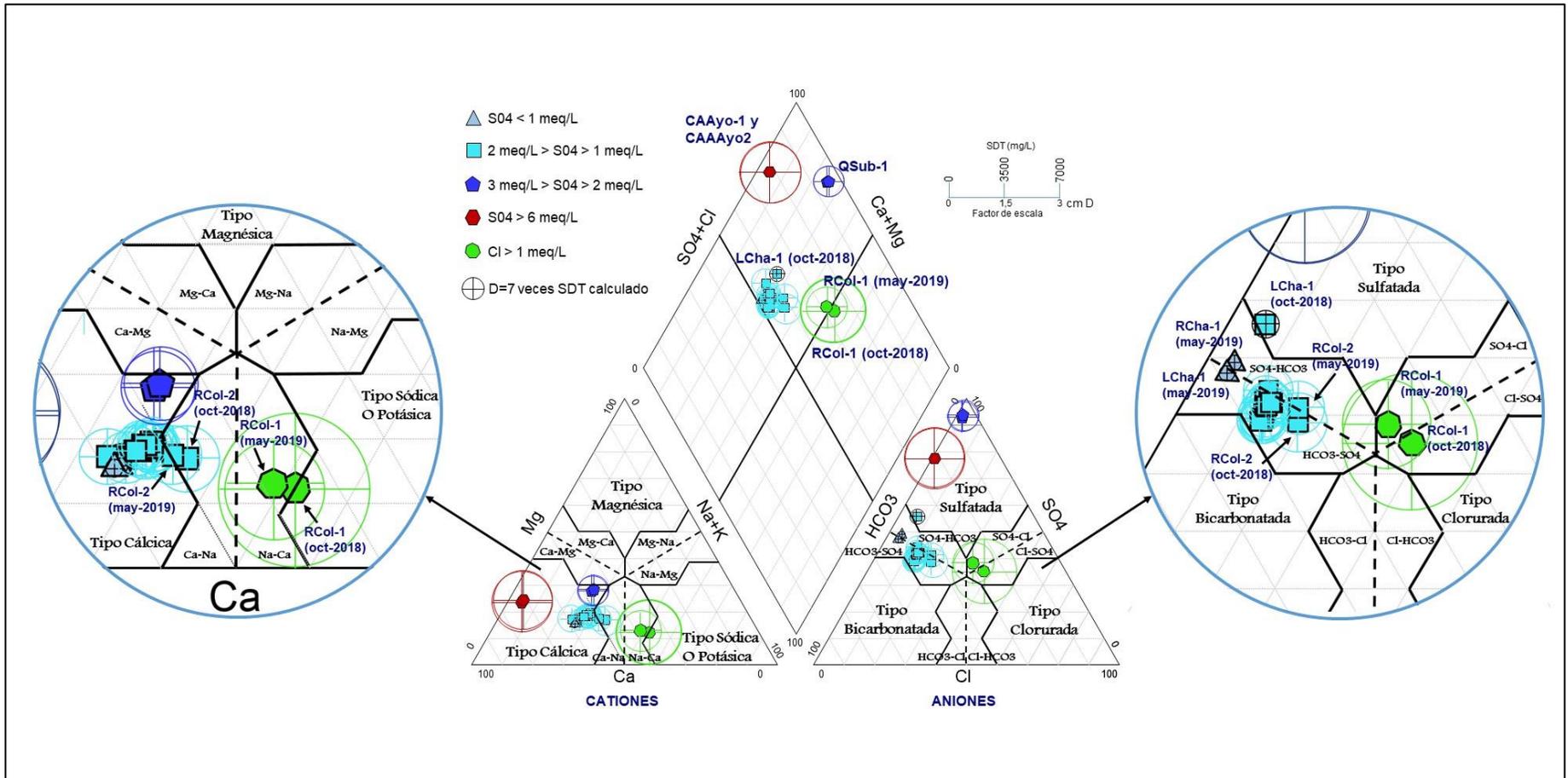


Figura 8.28. Diagrama de Piper



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

8.3.2.4.2. Diagrama de Gibbs

De acuerdo al diagrama de Gibbs, presentado en las Figuras 8.29 y 8.30, muestra las diferencias de los índices iónicos con los sólidos disueltos totales (SDT) del canal Ayo (CAAYo-1 y CAAYo-2) y el río Colca (RCol-1) en octubre de 2018 y mayo de 2019, y la laguna Chachas (LCha-1) con su descarga en el río Chachas (RCha-1) en mayo de 2019 en relación a los demás puntos de muestreo de las lagunas, manantiales y el río Colca en RCol-2 (aguas abajo de la confluencia con el río Mamacocha).

De otro lado, todas las muestras se encuentran en el rango de las reacciones de intemperismo o meteorización (dominio de roca).

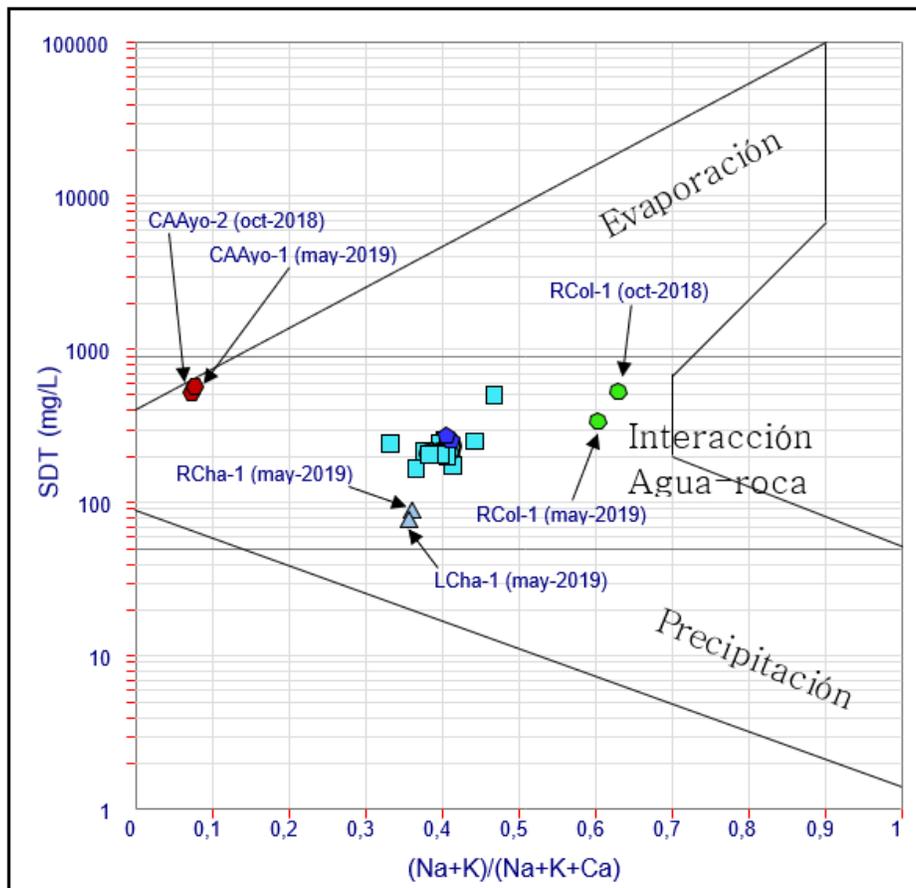


Figura 8.29. Diagrama de Gibbs (Na+K/Na+K+Ca vs SDT) de los puntos de muestreo evaluados en octubre de 2018 y mayo de 2019

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

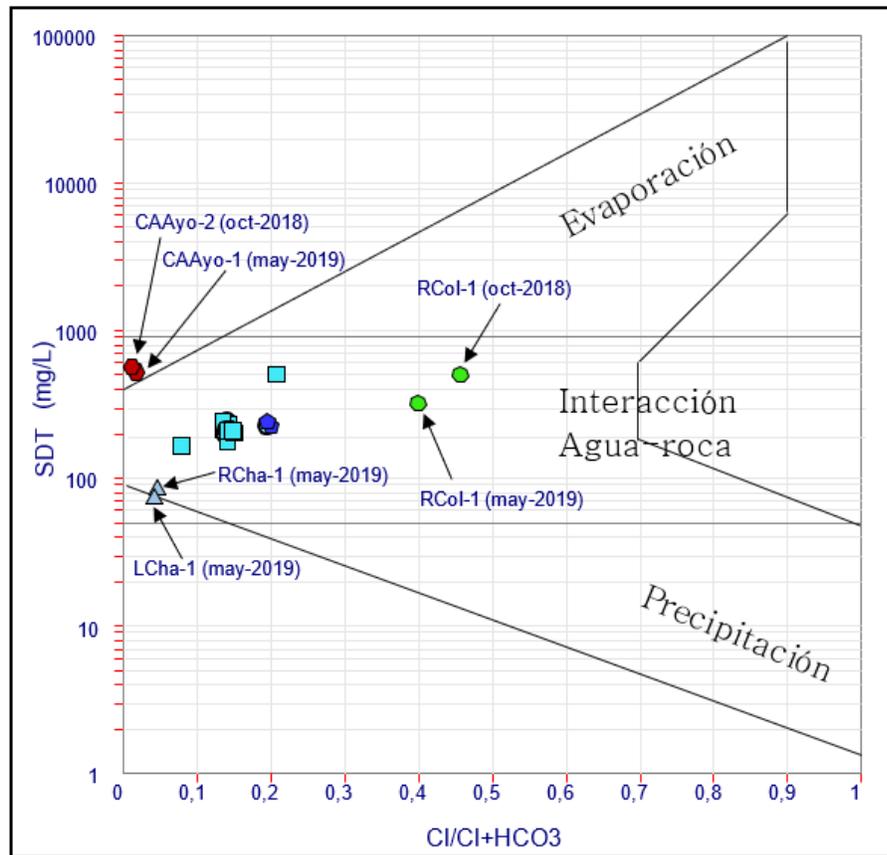


Figura 8.30. Diagrama de Gibbs (CI/CI+HCO₃ vs SDT) de los puntos de muestreo evaluados en octubre de 2018 y mayo de 2019

8.3.2.4.2. Diagrama de Scatter

La predominancia química de los puntos evaluados en la laguna Mamacochoa (LMam-1, LMam-2, LMam-3 y LMam-4) y el manantial (MSN-1) fue relacionada con la evolución de los flujos subterráneos mediante el diagrama de Scatter. Los flujos de la resurgencia en la laguna Mamacochoa y manantial se caracterizan por ser del tipo local tal como se muestra en la Figura 8.31.



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

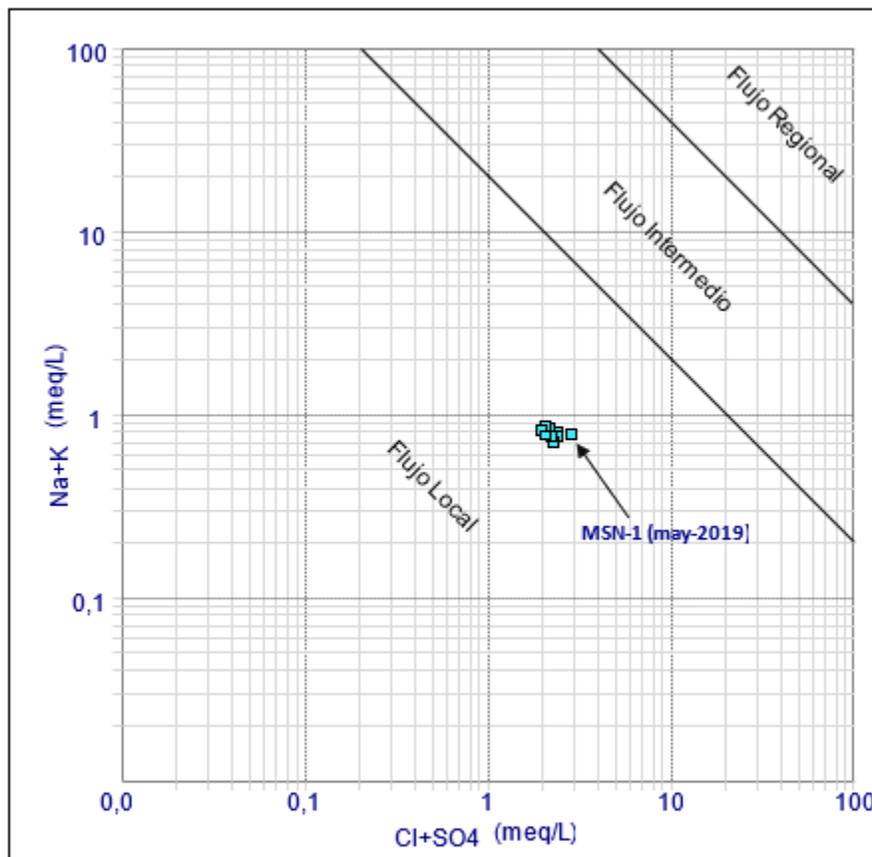


Figura 8.31. Diagrama de Scatter

8.3.2.4.2. Diagrama de Korjinski

Estos diagramas muestran campos de diversos colores (naranja, verde, morado, celeste, amarillo y rosado), los cuales ubican a los puntos de muestreo en dominios en equilibrio o casi en equilibrio de minerales secundarios compuestos de silicio con metales alcalinos y aluminio.

Al respecto, de acuerdo con la Figura 8.32a, todos los puntos de muestreo del canal de riego Ayo (CAAYo-1 y CAAYo-2), la descarga de la laguna Chachas (LCha-1) y el río Chachas (RCha-1) estuvieron en el campo de la estabilidad de la caolinita - $Al_2Si_2O_5(OH)_4$, mientras los demás puntos de muestreo estuvieron en el campo de estabilidad de la pirofilita - $Al_2Si_4O_{10}(OH)_2$. Cabe señalar que el río Colca en RCol-1, aguas arriba de la confluencia con el río Mamacocha, en octubre de 2018 se encuentra cerca del campo de estabilidad de la albita - $NaAlSi_3O_8$.

Con respecto a la Figura 8.b, los puntos de muestreo en los ríos Colca (RCol-1 y R-Col2) en ambas temporadas y Mamacocha (RMam-2, RMam-3 y RMam-4) en octubre de 2018 se encuentra en el campo de estabilidad de la microclina ($KAlSi_3O_8$).



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

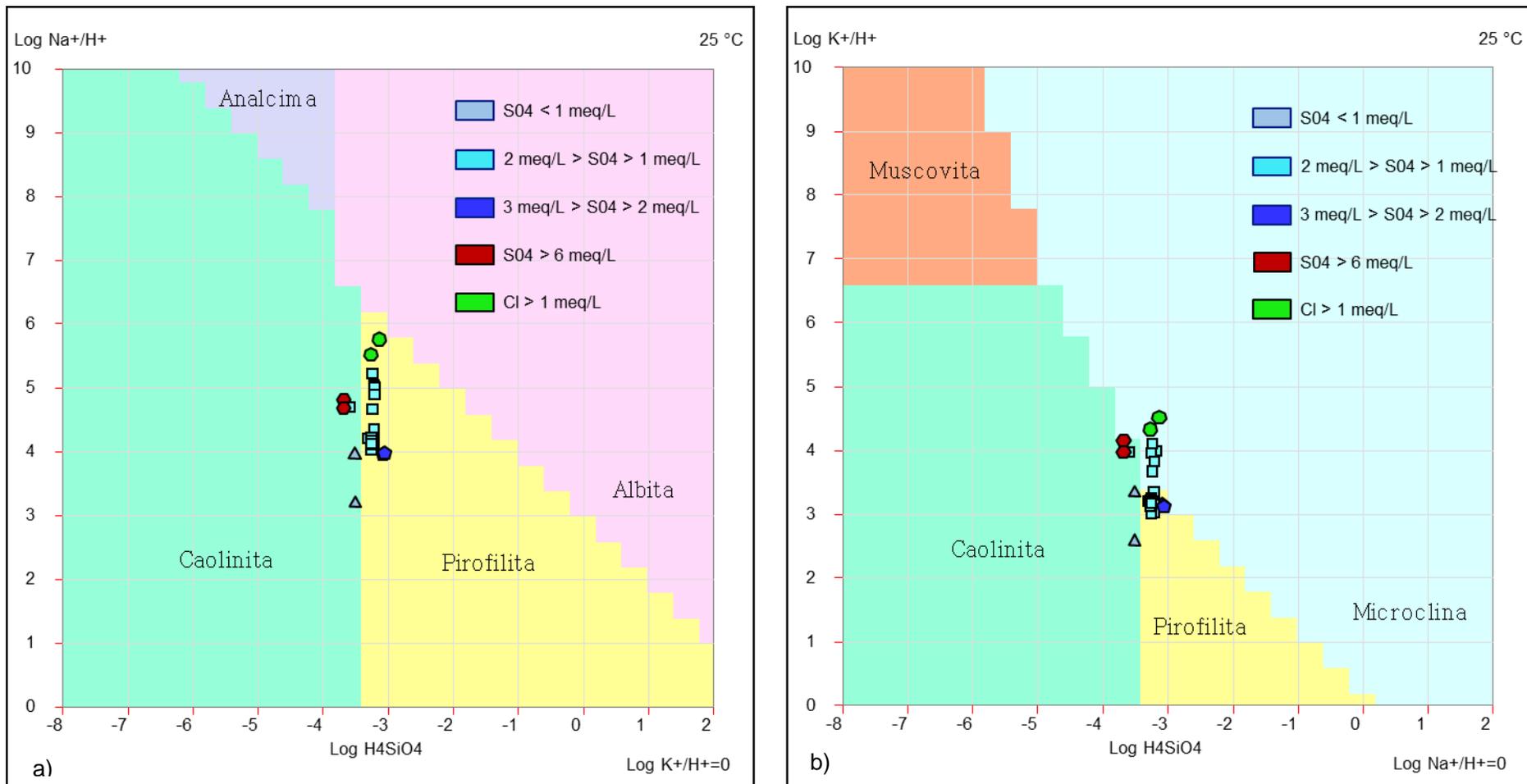


Figura 8.32. Diagrama Korjinski a) Log H₄SiO₄ vs Log Na⁺/H⁺ y b) H₄SiO₄ vs Log K⁺/H⁺ de los puntos de muestreo evaluados en octubre de 2018 y mayo de 2019



8.3.3. Caracterización geológica

El desarrollo de esta sección contiene la descripción de las unidades litoestratigráficas, rocas intrusivas y el contexto estructural, que abarca el área de influencia del proyecto Laguna Azul.

El basamento corresponde a las sedimentarias (clásticas y calcáreas) de edad Jurásica-Cretácica, instruido por stocks de granito, tonalita de la Súper Unidad Tiabaya. Estas rocas son cubiertas de forma discordante por conglomerados de la Formación Huanca y rocas volcanoclásticas de la Formación Orcopampa y el Grupo Barroso. Los depósitos cuaternarios pleistocenos corresponden a material glaciar y conos aluviales.

El evento volcánico predominante en esta microcuenca corresponde a las lavas y tefras del Grupo Andahua depositados en el fondo del valle desde Andahua hasta el río Colca. Finalmente, se observó depósitos cuaternarios recientes (aluvial, coluvial-deluvial y fluvial) distribuidos en laderas y en el fondo de los valles. La secuencia de formación en el tiempo se muestra en la columna estratigráfica de la Figura 8.33.



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

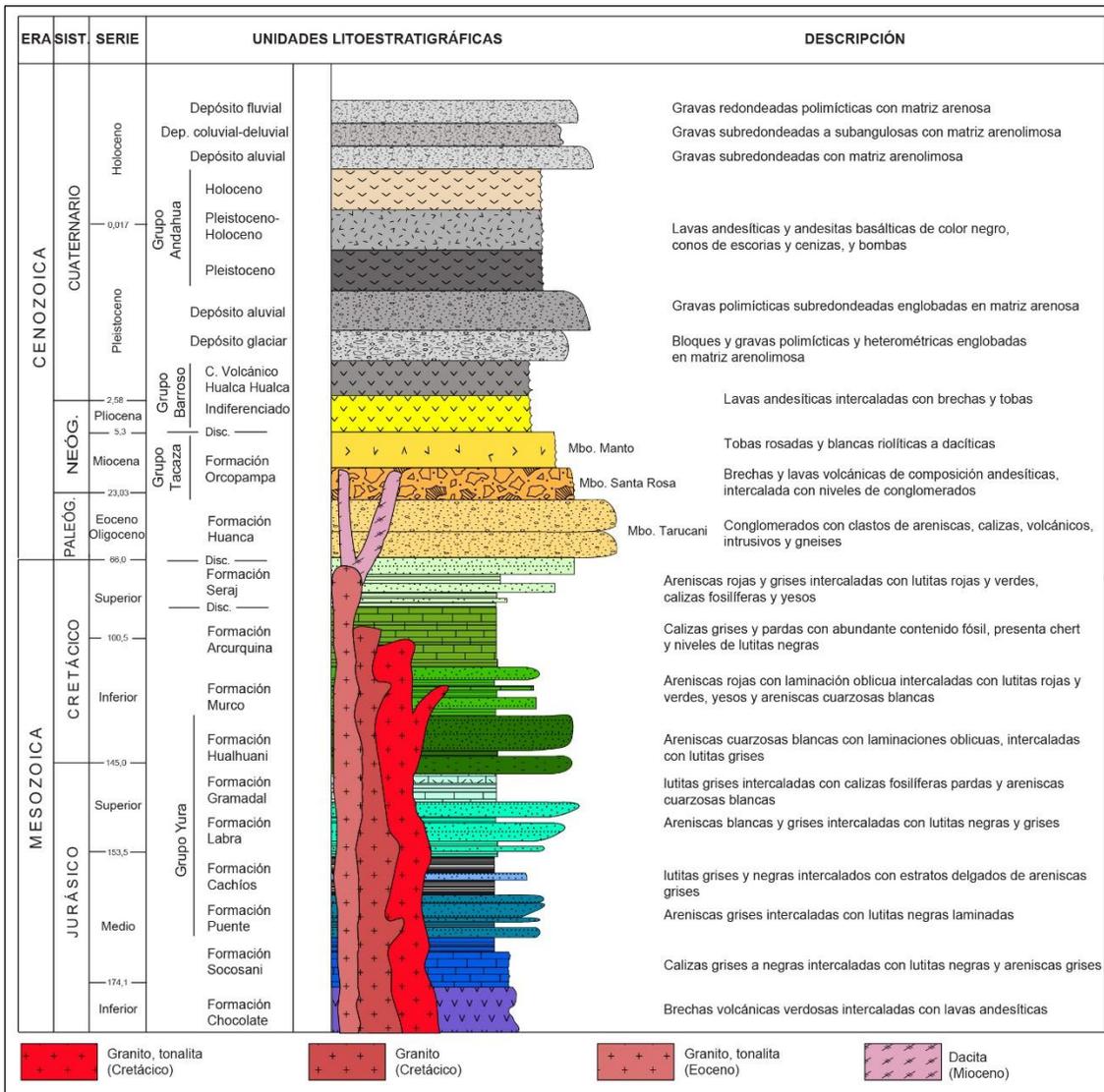


Figura 8.33. Columna estratigráfica de las unidades geológicas en la microcuenca del río Mamacochoa

8.3.3.1. Litoestratigrafía

A. Formación Chocolate

Esta Formación fue definida por Jenks (1948), aflora solamente en el río Colca debido a la erosión del valle. En cuanto a la posición estratigráfica, infrayace discordante a la Formación Socosani. Litológicamente está compuesta por brechas y coladas volcánicas de composición andesítica, con coloración verdosa. Los afloramientos presentan un grosor aproximado de 200 m (Romero y Ticona, 2003).



B. Formación Socosani

Las rocas de esta formación afloran en el río Colca, laguna Mamacocha, localidad de Ayo y en el anexo de Subna. La litología consiste en calizas negras fosilíferas intercalados con limoarcillitas negras carbonosas y esporádicos niveles de areniscas, también presentan abundantes nódulos calcáreos que varían de 5 a 40 cm de diámetro (Romero y Ticona, 2003).

C. Grupo Yura

Este grupo fue descrito por primera vez por Jenks (1948), posteriormente, Benavides (1962) lo subdividida en cinco formaciones: Puente Cachíos, Labra, Gramadal y Hualhuani; que aflora ampliamente en el río Colca, río Mamacocha y distrito Andahua.

En la cuenca del río Mamacocha aflora como basamento sobre el cual se depositaron rocas volcánicas recientes (volcánicos Orcopampa, Barroso y Andahua), estas rocas fueron intensamente deformadas por esfuerzos compresivos, lo cual dio lugar a fallas y pliegues de dirección NO-SE.

a. Formación Puente

Estas rocas afloran predominantemente en ambos márgenes del río Colca, en el distrito de Ayo, alrededor de la laguna de Chachas y en el centro poblado de Soporó. Litológicamente consiste en estratos de areniscas cuarzosas grises de grano fino a medio intercaladas con limoarcillitas negras. El espesor de esta Formación varía de 600 m a 1100 metros.

En la margen derecha del río Colca (punto CG-LA-10) se reconoció estratos de areniscas feldespáticas grises y areniscas cuarzosas intercaladas con niveles delgados de lutitas negras (20 a 40 cm), además, estos estratos forman parte de un anticlinal E-O con buzamiento horizontal en la charnela y 52 ° hacia el sur en los flancos. Esta misma litología fue descrita en el punto CG-LA-06, ubicado en el canal de riego de la localidad de Ayo (Figura 8.34 a, b y c).

En el borde este de la laguna Chachas (CG-LA-11) afloran estratos de areniscas y lutitas con venillas de calcita y costras de carbonatos en fracturas, presenta buzamiento de bajo ángulo (13°) hacia el NE y limita con las lavas andesíticas del Grupo Andahua (Figura 8.34 d).

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad



Figura 8.34. Afloramientos de la Formación Puente, en a) río Colca; b) río Mamacocha, c) Canal de riego del centro poblado de Ayo y d) borde este de la laguna de Chachas.

10,5

En la margen izquierda del río Mamacocha (cerro Canco), estos afloramientos sedimentarios se encuentran deformados, debido a fallas inversas con vergencia al SO y pliegues de dirección NO-SE (Figura 8.35). Asimismo, en la parte central del anticlinal y sinclinal afloran calizas de la Formación Socosani que se extienden por debajo de la laguna Mamacocha. En este contexto se produce la resurgencia de Mamacocha y el empozamiento de la laguna Mamacocha que posteriormente fluye superficialmente hasta la confluencia con el río Colca.



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

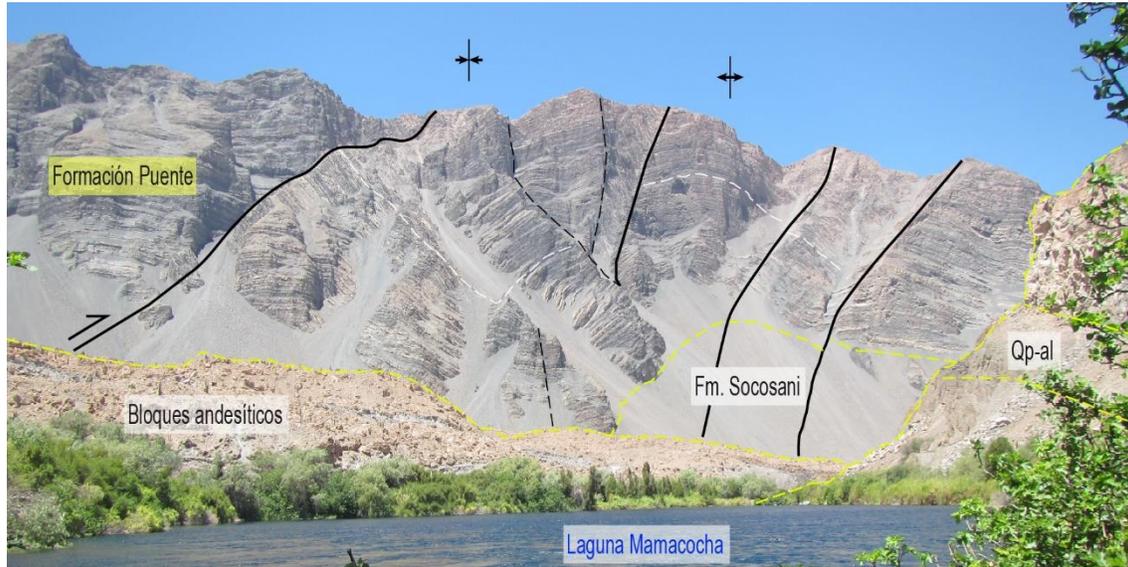


Figura 8.35. Afloramientos sedimentarios deformados de la Formación Puente en el cerro Canco

La Figura 8.36 muestra la sección geológica E-O desde el anexo Silco hasta el cerro Canco, donde se observa el basamento sedimentario clasificado como acuitardo (Peña, *et al.*, 2010). Sobre estas rocas se observó un nivel material aluvial que posteriormente fue cubierto por lavas y escorias del Grupo Andahua.

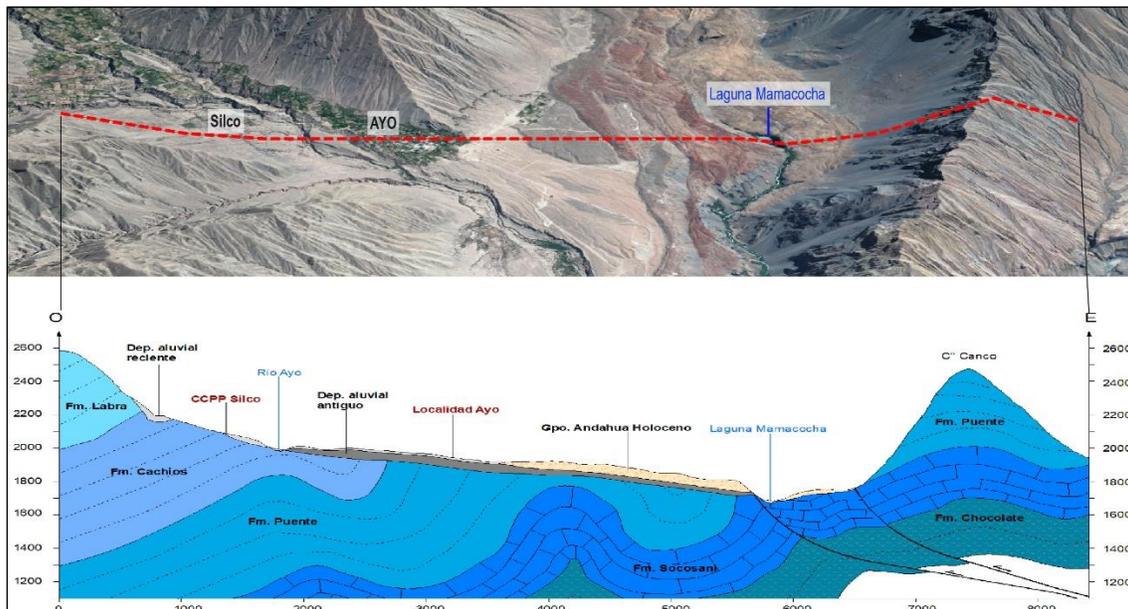


Figura 8.36. Sección geológica E-O desde el centro poblado Silco hasta el cerro Canco

**b. Formación Cachios**

Estas rocas afloran yacen concordantes sobre la Formación Puente en el río Colca (aguas debajo de la confluencia con el río Mamacocha), río Ayo y en el anexo Soporó. La litología consiste en limoarcillitas grises a negras con nódulos arenosos y óxidos de hierro, presentan deformación sinsedimentaria (slump) y se intercalan con estratos de areniscas de grano fino a medio. El espesor aproximado de esta Formación es de 350 m (Romero y Ticona, 2003).

c. Formación Labra

Afloran en la margen derecha del río Ayo, cerro Orosapuquio y anexo Soporó. El contacto con la Formación Cachíos es progresiva. Litológicamente está constituido por areniscas cuarzosas blancas de grano fino a grueso, intercaladas con limoarcillitas negras. El espesor aproximado de esta unidad es de 1200 m (Romero y Ticona, 2003).

d. Formación Gramadal

Esta Formación yace concordante sobre los afloramientos de la Formación Labra. Litológicamente está compuesto por limoarcillitas grises, moradas, verdes y rojas, con nódulos calcáreos, también presenta estratos de areniscas cuarzosas y calizas gris claras y pardas con abundante fósil. El espesor aproximado varía de 100 m a 200 m (Romero y Ticona, 2003).

e. Formación Hualhuani

Aflora en la margen derecha del río Ayo, cerro Allcahuayta y cerca al volcán Jenchaya. Se encuentra constituido por estratos de areniscas cuarzosas blancas intercalados con niveles delgados de limoarcillitas negras. El espesor aproximado varía de 200 m a 300 m (Romero y Ticona, 2003).

D. Formación Murco

Esta Formación fue definida por Jenks (1948) y aflora de forma concordante sobre la Formación Hualhuani. Litológicamente está compuesta por limoarcillitas, limolitas, areniscas, calizas, yesos y niveles de microconglomerados. El espesor aproximado es de 400 m (Romero y Ticona, 2003).

La Figura 8.37 muestra la sección geológica que comprende desde el cerro Huillapuquio hasta la laguna Pumajallo, donde se observa las secuencias sedimentarias con buzamientos hacia el SO (lado izquierdo de la sección) que conforman el basamento sobre el cual se depositaron las lavas de los eventos magmáticos de los grupos Barroso y Andahua.



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

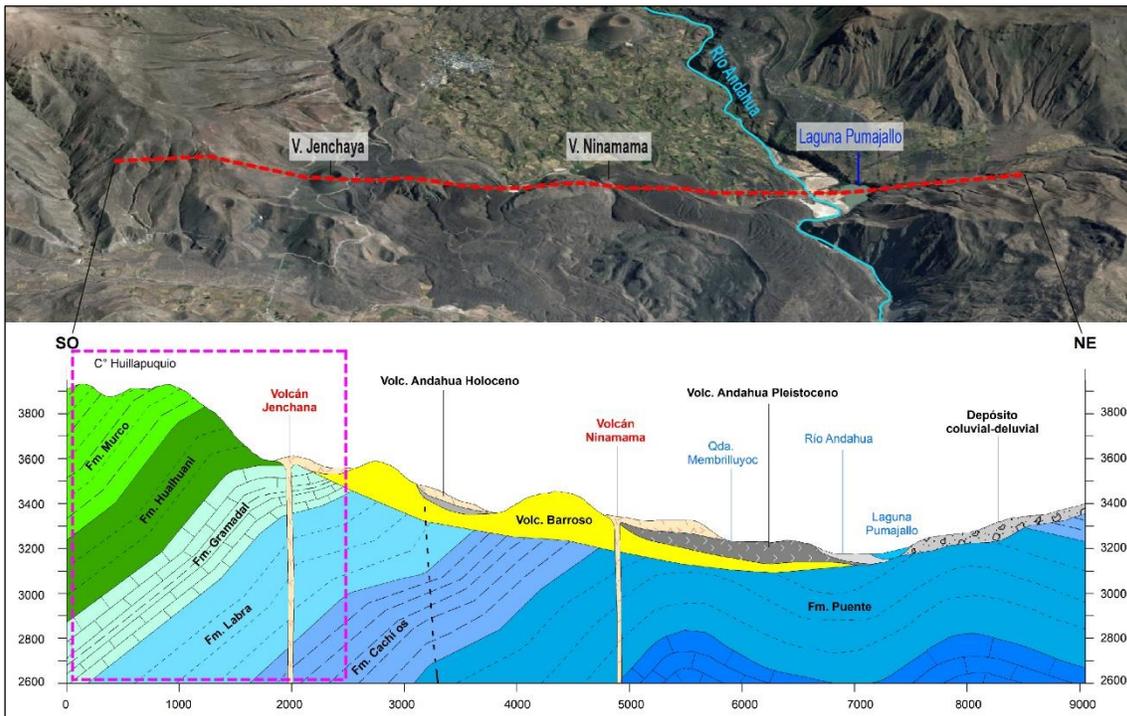


Figura 8.37. Sección geológica desde el cerro Huillapuquio hasta la laguna Pumajallo.

E. Formación Arcurquina

Descrito por primera vez por Jenks (1948), aflora ampliamente en la margen derecha del río Ayo, en los cerros Huaychata y Huillapuquio, y en la quebrada Misahuana. La litología consiste en calizas gris oscuras a gris azuladas, margas, calizas arenosas y brechas calcáreas. Presentan abundante contenido fósil y nódulos de chert negro a beige. El espesor aproximado es de 600 m (Romero y Ticona, 2003).

F. Formación Serai

Esta denominación fue propuesta por Hosttas (1967) y Manrique (1970). Considerado por Cruz (2002) como Formación Ashua. Aflora esporádicamente en los cerros Yanahuara y Misahuana, yace discordante de forma erosional a la Formación Arcurquina y es cubierto del mismo modo por secuencias conglomerádicas Paleógenas. La litología consiste en limoarcillitas, areniscas, yesos, calizas y microconglomerados. El espesor aproximado es de 400 m (Romero y Ticona, 2003).

G. Formación Huanca

Definida por Jenks (1948), fue subdividida en 3 miembros: Querque, Huasayamayo y Tarucani. Dentro del área de estudio, solo aflora el miembro Tarucani, de forma discordante sobre la Formación Seraj en los cerros Yanahuara y Misahuana. La litología consiste en conglomerados polimícticos con clastos subredondeados de areniscas, calizas, intrusivos y gneises.



H. Formación Orcopampa

Descrito por Caldas (1993), fue dividido en 3 miembros: Santa Rosa, Manto y Aicaje. En el área de estudio el Miembro Santa Rosa aflora en el cerro Jallhua; mientras que, el miembro Manto en los cerros Yanahuara y Misahuana. En ambos casos se encuentra discordante sobre rocas sedimentarias e intrusivas. La composición litológica es brechas, lavas andesíticas, conglomerados, areniscas y lutitas, asimismo, presentan tobas soldadas dacíticas y latíticas (Romero y Ticona, 2003).

En el anexo se Subna, en la naciente de la quebrada del mismo nombre, se observó una zona de alteración hidrotermal relacionada a los volcánicos del Miembro Santa Rosa que cubre de forma discordante al intrusivo de granito-grandiorita. Estas zonas presentan arcillas y óxidos de hierro debido a la interacción de fluidos hidrotermales con las rocas volcánicas que actualmente son meteorizadas y erosionadas hacia las laderas del cerro Jallhua.

La Figura 8.38 muestra la ubicación y el emplazamiento del intrusivo que corta a secuencias Jurásicas, asimismo se aprecia niveles aluviales pleistocenos cubiertos por las coladas volcánicas de las últimas fases eruptivas del Grupo Andahua.

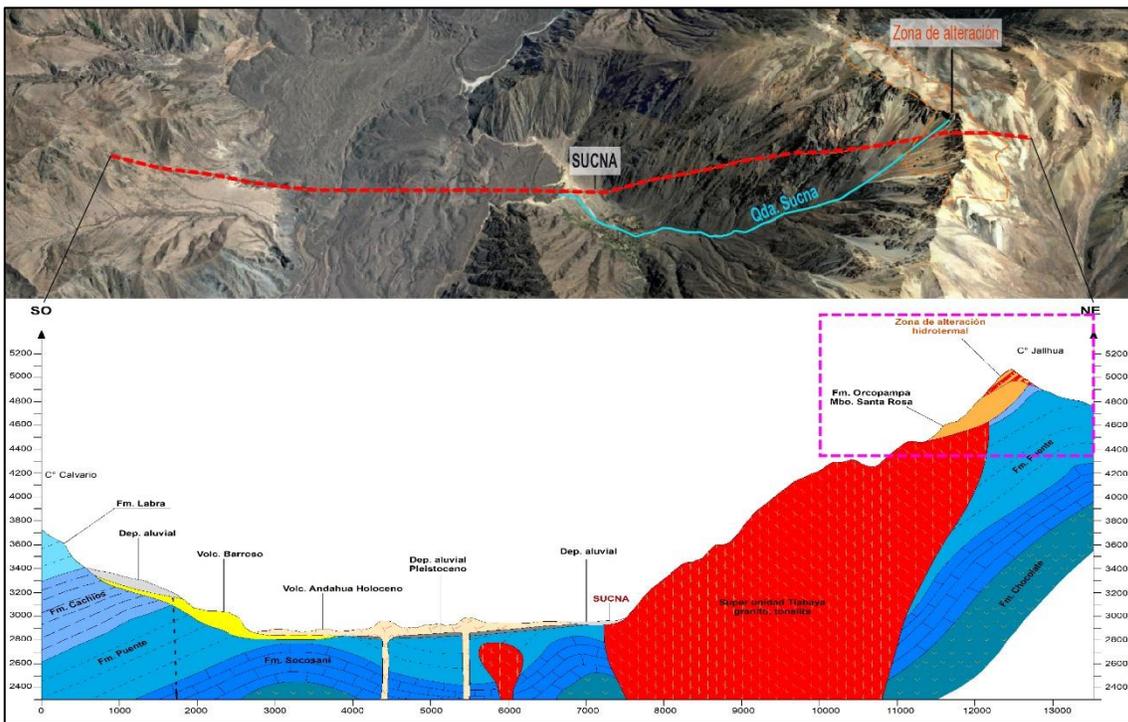


Figura 8.38. Sección geológica en el tramo del cerro Calvario hasta el cerro Jallhua

I. Grupo Barroso

Definidos por Wilson y García (1962) y Mendivil (1965), aflora en las quebradas Atoctoclla, Ojroja y Tambo. Cubren de forma discordante a las rocas sedimentarias Jurásicas-Cretácicas y



corresponden a lavas andesíticas producto del aporte de diferentes estratovolcanes ubicados aledaño al área de estudio (Romero y Ticona, 2003).

J. Depósitos cuaternarios pleistocenos

Bajo esta clasificación se consideran a los depósitos glaciares y aluviales depositados anterior a los volcánicos del Grupo Andahua, probablemente de edad Pleistocena.

En las márgenes del río Mamacocha (puntos CG-LA-03 y CG-LA-08), debajo de las lavas volcánicas del Grupo Andahua se han reconocido niveles aluviales interrumpidos con canales fluviales, compuestos principalmente por fragmentos de rocas sedimentarias (areniscas cuarzosas, lutitas y calizas negras), intrusivos (granodiorita y diorita) y volcánicos porfídicos (traquiandesita) englobados en matriz arenosa. El espesor aproximado es de 20 m (Figura 8.39).

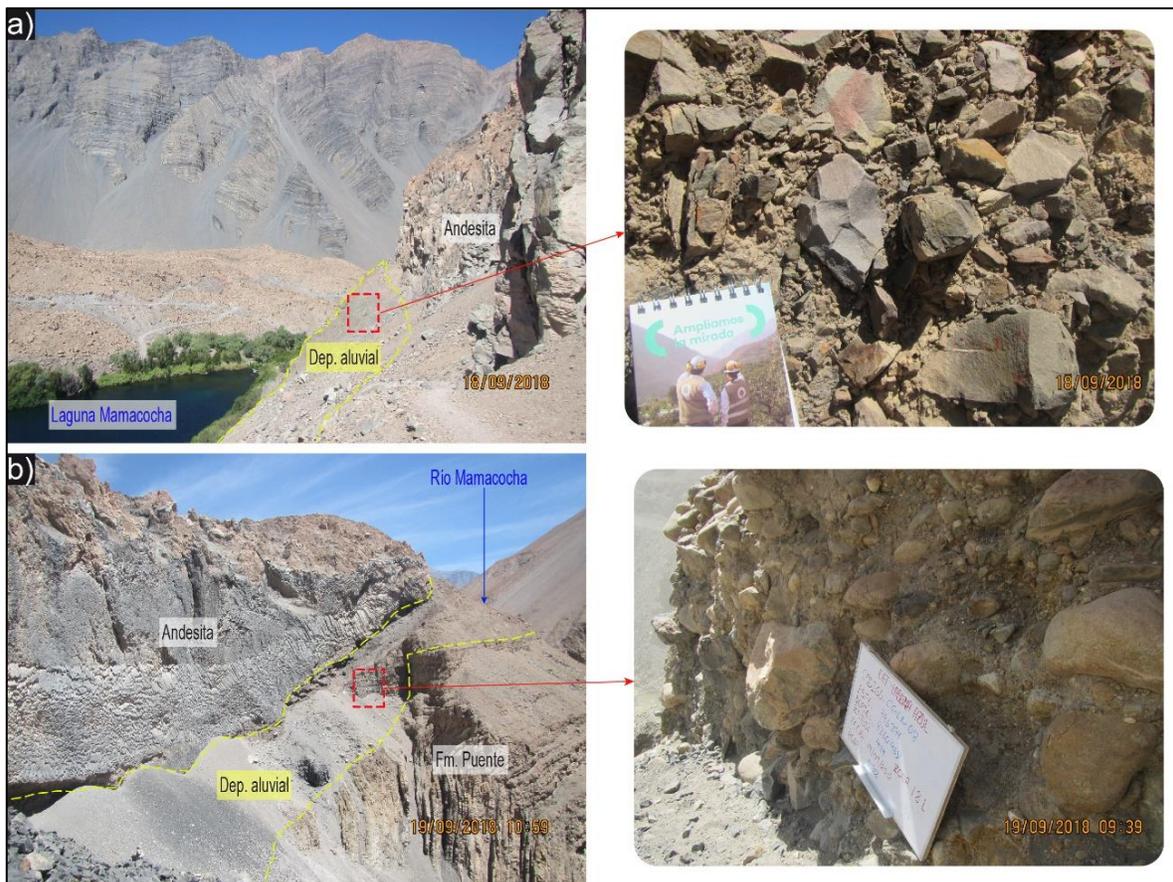


Figura 8.39. Depósitos aluviales, en a) borde oeste de la laguna Mamacocha y b) margen derecha del río Mamacocha, cerca de la confluencia con el río Colca



K. Grupo Andahua

Descrito por primera vez por Hoempler (1962) en el valle de Andahua, denominado también como «valle de los volcanes». Cubren el fondo de este valle desde el poblado de Andahua hasta el río Colca y se ubica discordante sobre rocas sedimentarias Jurásicas-Cretácias y depósitos aluviales Pleistocenos.

Galas (2009) lo clasifica en 3 miembros en función a la edad, a las lavas antiguas lo denomina Pleistoceno, lavas de edad mediana como Pleistoceno-Holoceno y lavas recientes como Holoceno. Las características de cada grupo de lavas se presentan en la Tabla 8.11.

Tabla 8.11. Características de los miembros del Grupo Andahua

N.º	Miembro	Descripción
1	Lavas antiguas (Pleistoceno)	Lavas meteorizadas, esculpidas por la erosión, cubiertas de vegetación convertidas en terrenos agrícolas. Bloques de lavas llanos. Presentan huellas de erosión glaciar.
2	Lavas de edad mediana (Pleistoceno-Holoceno)	Presentan suelos primarios con cobertura de hierbas, cactus o arbustos.
3	Lavas recientes (Holoceno)	Presenta superficies ásperas y rugosas. Las estructuras de los centros de emisión son notorios y las coladas presentan escarpas abruptas. Las plantas no son desarrolladas.

La litología de este grupo es variada, presentan lavas negras o gris oscuro en la base y rojizas en la superficie meteorizada, tefras negras, aglomerado de bombas, lavas y escorias rojas y cenizas con láminas limosas. Las lavas son de composición andesítica, basáltica y en menor proporción dacíticas, presentan plagioclasas, piroxenos, olivino, hornblenda y titanomagnetita Galas (2009). Según Hoempler, 1962, Weibel y Fejér, 1977, Venturelli *et al.*, 1978, Delacour, 2002, estas lavas presentan alto contenido de potasio por lo que lo denominó latandesitas y andesitas basálticas.

Alrededor de la laguna Mamacocha se observan lavas recientes (Holocenas) que cubren en general en discordancia erosional a rocas sedimentarias de la Formación Socosani y el Grupo Yura, además yacen sobre niveles aluviales Pleistocénicos desarrollado en la base del gravén con aportes del abanico aluvial proveniente de Ayo y otra parte desde la laguna Chachas. Esta colada, en la base (CG-LA-02 CG-LA-05) consisten en lavas andesíticas grises a negras con abundantes minerales de flogopita, distribuido en niveles de 0,5 a 1 m de grosor y en superficie (CG-LA-01 y CG-LA-04) por bloques caóticos en forma de lahar, compuesto por fragmentos subangulosos de andesitas negras a pardas, andesitas escoriáceas, andesitas oxidadas y esporádicos fragmentos de areniscas, englobados en matriz limoarenosa

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad



Figura 8.40. Afloramientos de las rocas volcánicas Holocenas del Grupo Andahua alrededor de la laguna Mamacocha

En la margen derecha del río Mamacocha, aproximadamente a 180 m antes de la confluencia con el río Colca (CG-LA-07), se aprecian lavas andesíticas y basálticas negras. Estos niveles se encuentran ligeramente estratificadas, asimismo, presenta disyunción columnar de 5 a 10 m de altura, yacen sobre depósitos aluviales Pleistocenos de aproximadamente 20 m de espesor.

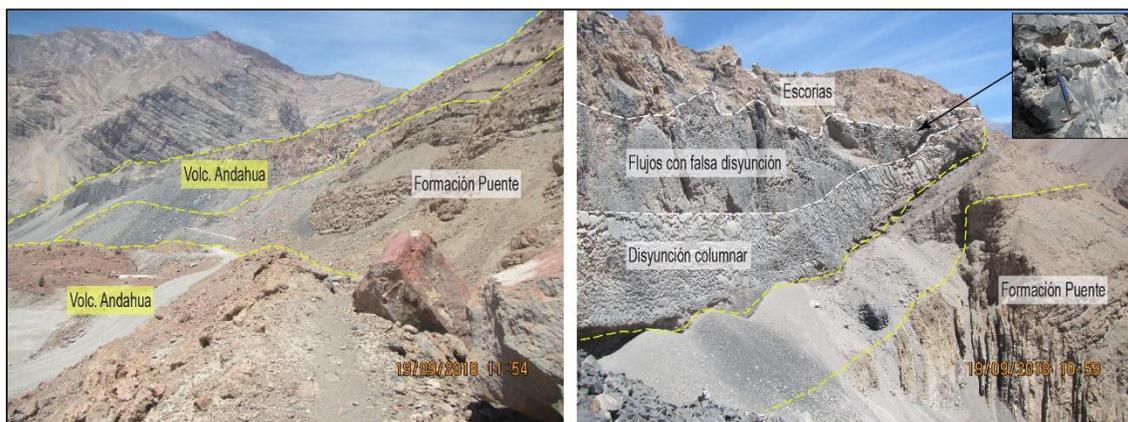


Figura 8.41. Afloramientos de las rocas volcánicas Holocenas del Grupo Andahua en la margen derecha del río Mamacocha



L. Depósitos cuaternarios Holocenos

Estos depósitos corresponden a material aluvial, coluvial-deluvial y fluvial que cubren a rocas sedimentarias, intrusivas y volcánicas. El espesor de estos depósitos es variable y se ubican en el fondo de los valles y laderas, en los ríos Colca, Ayo, Mamacocha y Andahua, alrededor de la laguna de Chachas y en el anexo Sucna. Estos depósitos están compuestos por gravas y cantos polimícticos, heterométricos, subangulosos a subredondeados, englobados en matriz arenosa, arenolimsa y limoarcillosa.



Figura 8.42. Depósitos fluviales recientes en el cauce del río Mamacocha

8.3.3.2. Rocas intrusivas

Estas rocas corresponden al Batolito de la Costa asignadas como Súper unidad Tiabaya (Cobbing, 1984). Afloran en la margen izquierda del valle Andahua, alrededor del anexo Sucna, cortando a rocas sedimentarias del grupo Yura y cubierto por lavas y flujos piroclásticos de la Formación Orcopampa. La litología de estos intrusivos consiste en granito y tonalita, constituido por minerales de plagioclasa (oligoclasa), cuarzo, flogopita, zircón, esfena, ortosa y epidota (Romero y Ticona, 2003).

En el cerro Ccolcceminas, ubicado en la margen derecha del río Ayo aflora rocas intrusivas de granito-tonalita del Plutón Huacombra, intruye a las formaciones Arcurquina, Murco y Grupo Yura y presenta cristales de ortosa, cuarzo y plagioclasa. Asimismo, en la localidad de Chachas se reportó rocas subvolcánicas de composición dacítica compuesto por cristales de feldespato potásico, plagioclasa y cuarzo (Romero y Ticona, 2003).

8.3.3.3. Contexto estructural

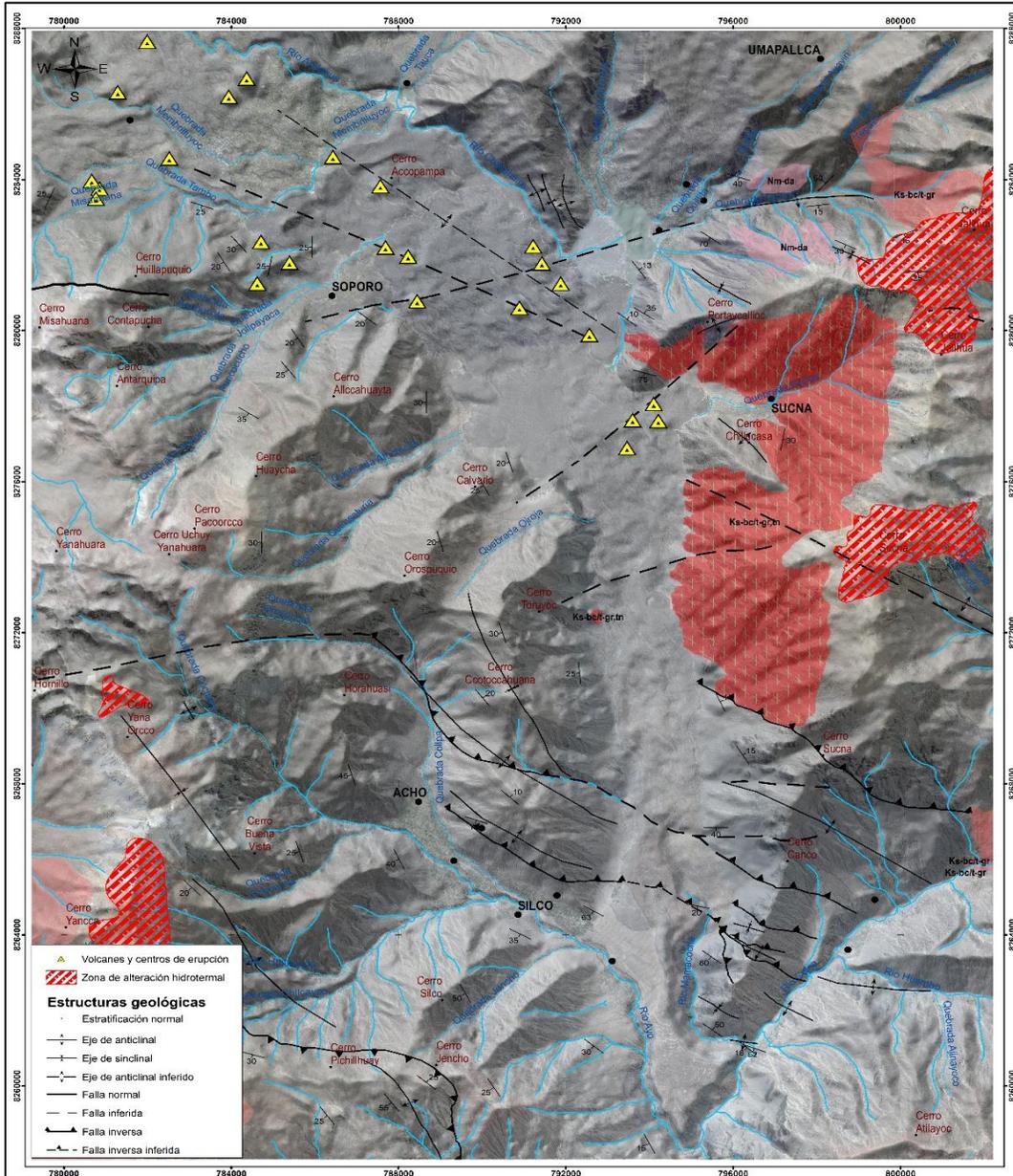
Las estructuras geológicas corresponden a fallas inversas y pliegues de dirección NO-SE y en menor proporción hacia el NE. La actividad volcánica del Grupo Andahua estuvo controlado por estas estructuras relacionadas a esfuerzos compresivos que generaron pliegues y zonas de tensión en las rocas sedimentarias de la Formación Socosani y el Grupo Yura.

En la laguna Mamacocha se observaron varias fallas inversas de dirección NO-SE y vergencia al SO, que se extienden desde el río Colca hasta el río Ayo. Esta estructura controla el



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

empozamiento de la laguna Mamacochoa, debido al relleno de roca molida de naturaleza arcillosa (nivel impermeable). La base de la laguna está conformada por calizas y lutitas negras de la Formación Socosani, lateralmente cubierto por lavas de andesitas, bloques de escorias y lahar.





Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

8.3.4. Flora

Los resultados de la evaluación de flora silvestre en el área de influencia del proyecto central hidroeléctrica Laguna Azul, fue desarrollado en 3 zonas: i) zona-1, que incluye la Laguna Mamacocha (EF), el tramo inicial del río Mamacocha y formaciones vegetales asociadas; ii) zona-2, que abarca gran parte de la zona media del río Mamacocha; y iii) zona-3, que corresponde a la confluencia de los ríos Mamacocha y Colca. Los resultados relacionados a la riqueza de especies, abundancia relativa, cobertura vegetal, diversidad (alfa y beta) y especies protegidas, son presentados a continuación.

8.3.4.1. Composición florística en el área de estudio

Se han identificado 74 especies de plantas vasculares (incluye datos cuantitativos y cualitativos), agrupadas en 3 clases, 41 familias botánicas y 66 géneros, más detalle en el Anexo 5. La clase Magnoliopsida (angiospermas) representa el grupo dominante con 55 especies (74,5 %), seguidas de la clase Liliopsida (angiospermas) con 15 especies (20,3 %). Y una menor diversidad presenta la clase Equisetopsida con 4 especies (5,5%) Lo antes descrito se detalla en la Tabla 8.12 y Figura 8.44.

Tabla 8.12. Número de familias, géneros y especies por cada clase registrada en el área de estudio

Clase	Familias	Géneros	Especies
Liliopsida	6	15	15
Magnoliopsida	31	47	55
Equisetopsida	4	4	4

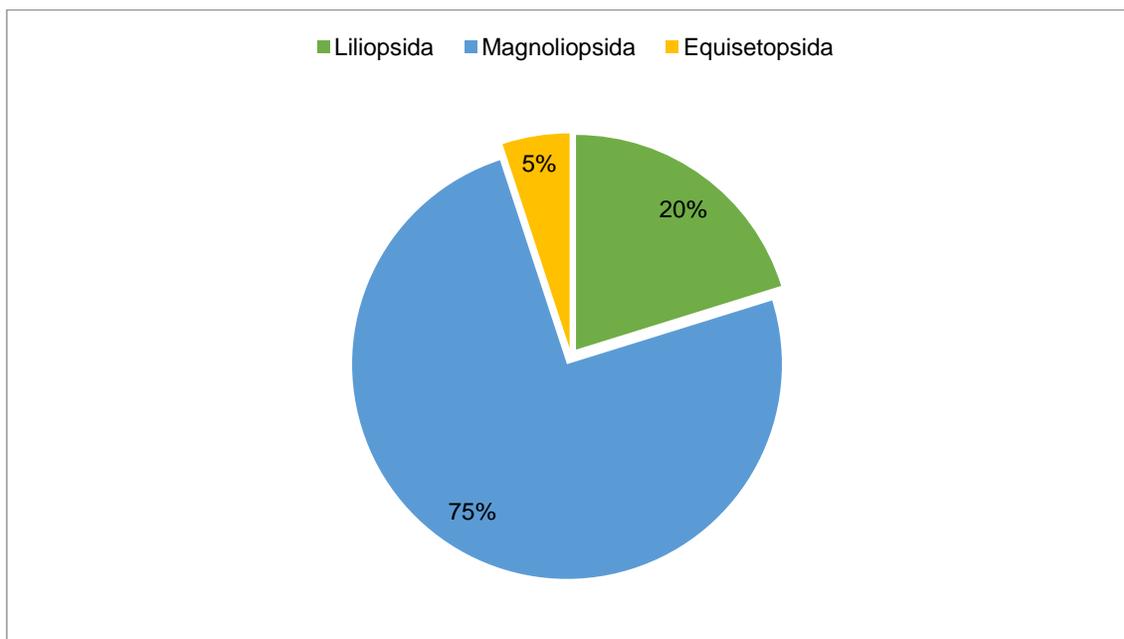


Figura 8.44. Porcentaje de especies por clase registrado en el área de estudio



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

Las familias más diversas fueron Asteraceae con 10 especies en 7 géneros, Poaceae con 8 especies en 8 géneros y Cactaceae con 7 especies en 7 géneros; en conjunto solo estas 3 familias agrupan el 33,78 % del total de especies, más de la cuarta parte del total presentes en el área de estudio. En general, estas familias fueron las más frecuentes (diversas) en el área que corresponde a Monte ribereño. Entre otras familias más diversas tenemos a Solanaceae, Amaranthaceae y Cyperaceae con 5, 3 y 2 especies respectivamente. Además, entre las 10 familias más diversas se agrupan el 58,11 % del total de especies registradas en el área de estudio (Figura 8.45)

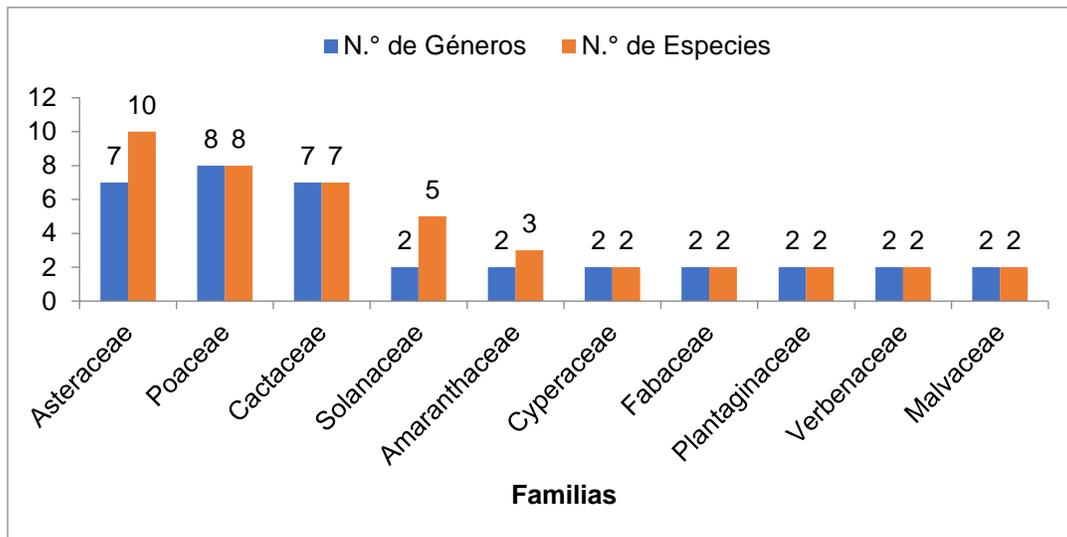


Figura 8.45. Familias más diversas, indicando número de géneros y especies, registradas en el área de estudio

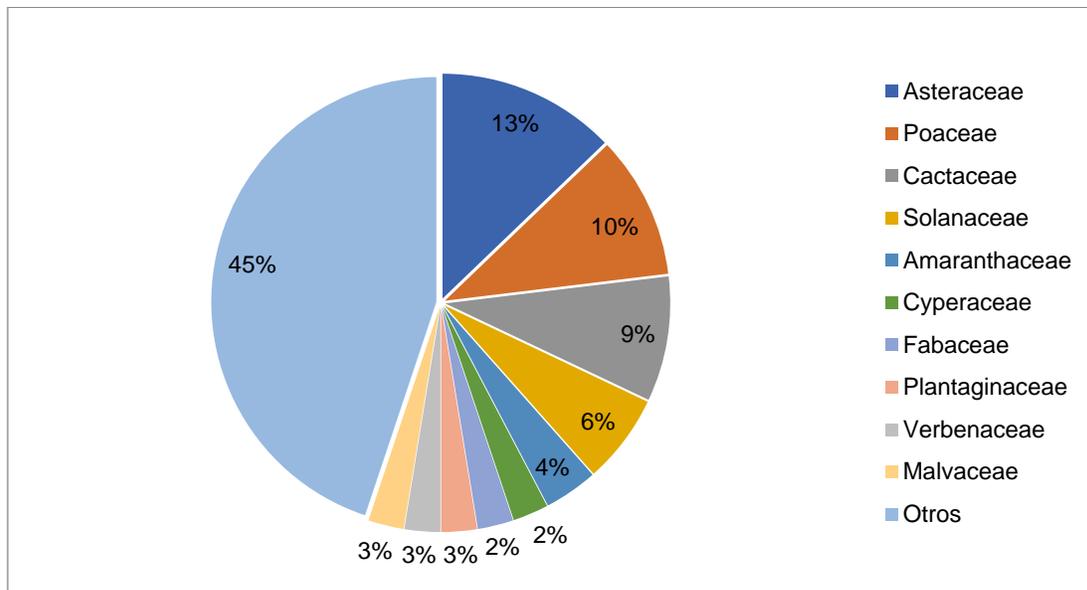


Figura 8.46. Familias con mayor porcentaje de especies, por encima del 2 % de especies registradas en el área de estudio



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

El área de estudio al estar asentado en terreno volcánico presenta características inusuales a otros ecosistemas, principalmente por su topografía accidentada e irregular, una muestra de ello es su composición florística, en ella muestra a familias y géneros con especies únicas. Es así que, los géneros con mayor número de especies fueron *Solanum* con 4 especies y *Amaranthus*, *Baccharis*, *Plantago*, *Sonchus* y *Viguiera* únicamente con 2 especies. Las 60 especies restantes son unicadas (Figura 8.47).

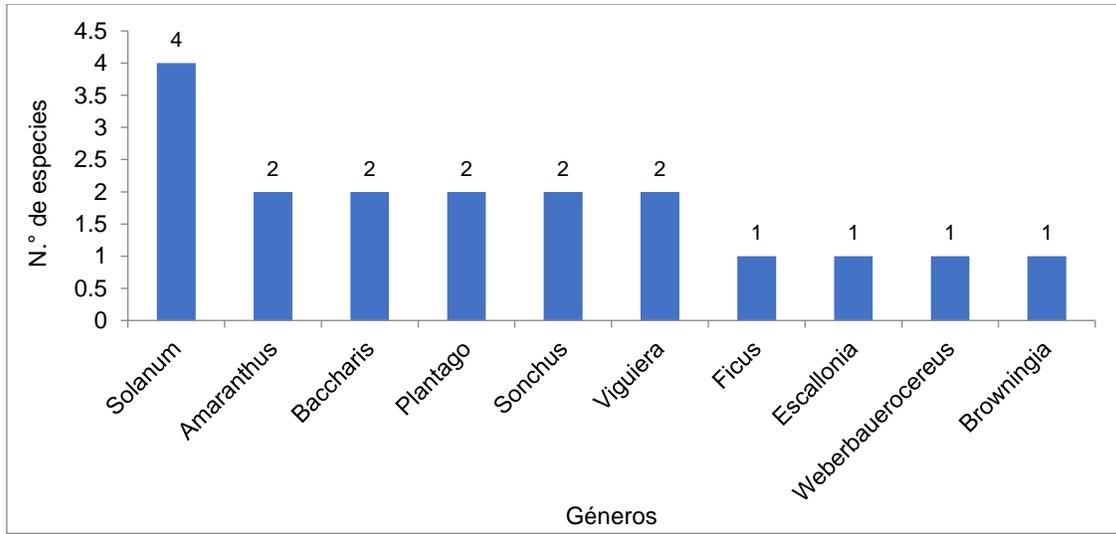


Figura 8.47. Familias con mayor porcentaje de especies, por encima del 2 % de especies registradas en el área de estudio

Es importante recalcar que, dentro de las 60 especies se registran especies arbóreas (monte ribereño), importantes por su cobertura vegetal, entre ellas: *Schinus molle* «molle», *Ficus carica* «higo», *Sapindus saponaria*, *Citrus limón* «limón» y *Escallonia angustifolia*. Además de arbustiformes y arbustos, otras especies como *Neoraimondia arequipensis* y *Arundo donax* (carrizo). Siendo la formación vegetal de hierbas la mejor representada (Figura 8.48).

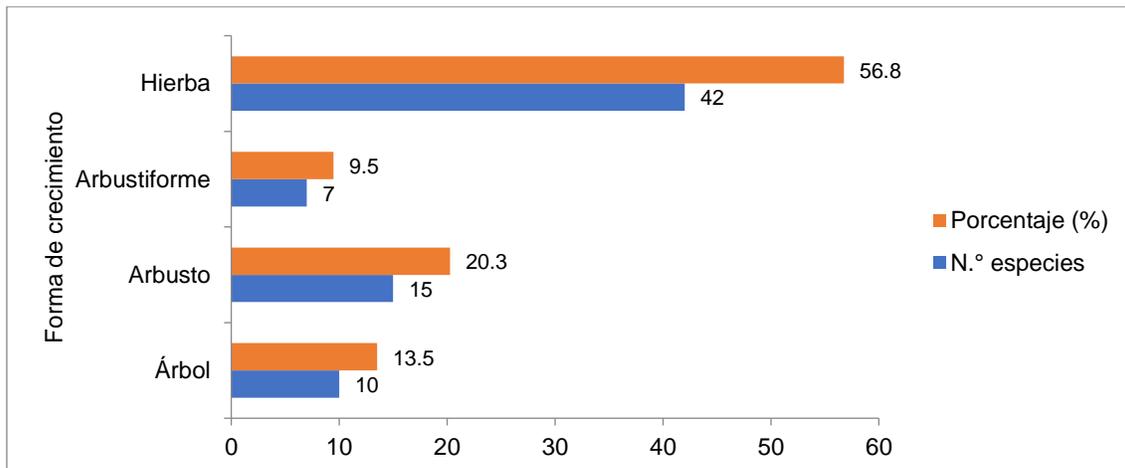


Figura 8.48. Familias con mayor porcentaje de especies, por encima del 2 % de especies registradas en el área de estudio



8.3.4.2. Composición florística por formación vegetal

En el área de estudio se identificaron 2 formaciones vegetales, las mismas que se detallan a continuación.

a. Monte ribereño

El monte ribereño es una entidad biogeográfica conocida también con el nombre de provincia ribereña o fluvial y está constituida por la vegetación que crece en las orillas y en las proximidades de los ríos que surcan de trecho en trecho (Sagástegui, 1976). Es así que, los resultados de la composición de la flora silvestre correspondiente a monte ribereño es la más diversa, respecto a la formación vegetal de matorral desértico ya que la primera está representada por 64 especies, distribuidas en 58 géneros y 37 familias (Figura 8.49).

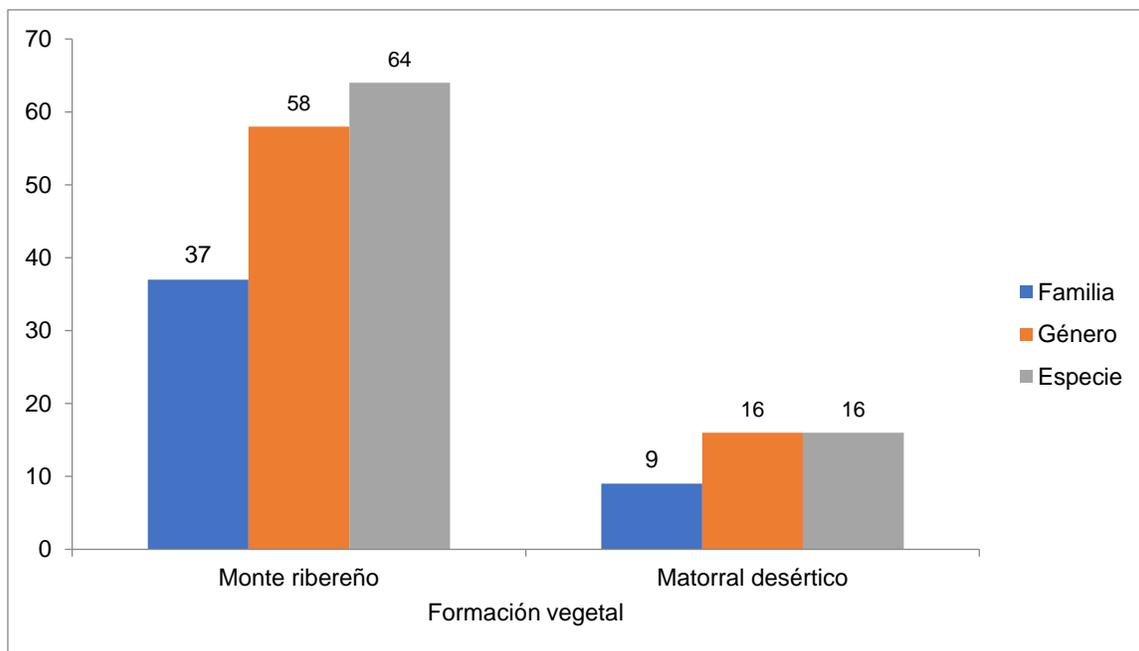


Figura 8.49. Número de especies, géneros y familias presentes en las dos formaciones vegetales presentes en el área de estudio

b. Matorral desértico

El relieve por lo general es abrupto, con escasas áreas onduladas a suaves, desarrollándose suelos superficiales de tipo Litosoles; donde se torna más suave la topografía y aparecen grupos de suelos de naturaleza calcárea más profundos y con impregnación volcánica, como en Arequipa. La vegetación es escasa y xerofítica, durante las lluvias se desarrolla una cubierta temporal de hierbas gramíneas pasajeras; las cactáceas son escasas, en las laderas escarpadas son frecuentes las «achupallas» y la «pacpa». A lo largo de cursos de agua se encuentran «sauce», «aliso», «chilca» y «pájaro bobo» (ONERN, 1976). Asimismo, los resultados de la evaluación muestran, que esta formación vegetal está representada por 16 especies, que forman parte de 16 géneros y 9 familias (Figura 8.49). Donde las especies de la familia Cactaceae es la más predominante, entre ellas la especie *Neoraimonia arequipensis*.



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

8.3.4.3. Curva de acumulación de especies

a. Curva de acumulación de toda la evaluación

De acuerdo al análisis de la curva de acumulación de especies con los datos obtenidos de los transectos evaluados, muestran que la curva se ajusta bien al modelo exponencial (R=0,9986) y que el número máximo de especies predicho es de 83. No se llegó a obtener una curva asintótica, pero estuvo cerca (Tabla 8.13 y Figura 8.50). La evaluación representa el 79,21 % de la flora silvestre total estimada para el área de estudio. Sin embargo, se puede observar que con la evaluación cualitativa se logra registrar un número muy cercano al predicho (74 especies) por el modelo. Esto muestra la importancia de realizar muestreos cualitativos para complementar a los de la evaluación cuantitativa. Por lo tanto, los datos obtenidos en este estudio fueron estadísticamente significativos.

Tabla 8.13. Número de familias, géneros y especies por cada clase registrada en el área de estudio

Table with 6 columns: Modelo, Formula, a, b, a/b, Porcentaje. It details the exponential model fit for species accumulation, showing a predicted total of 83.317991 species (100%) and an actual evaluation result of 66 species (79.214584%).

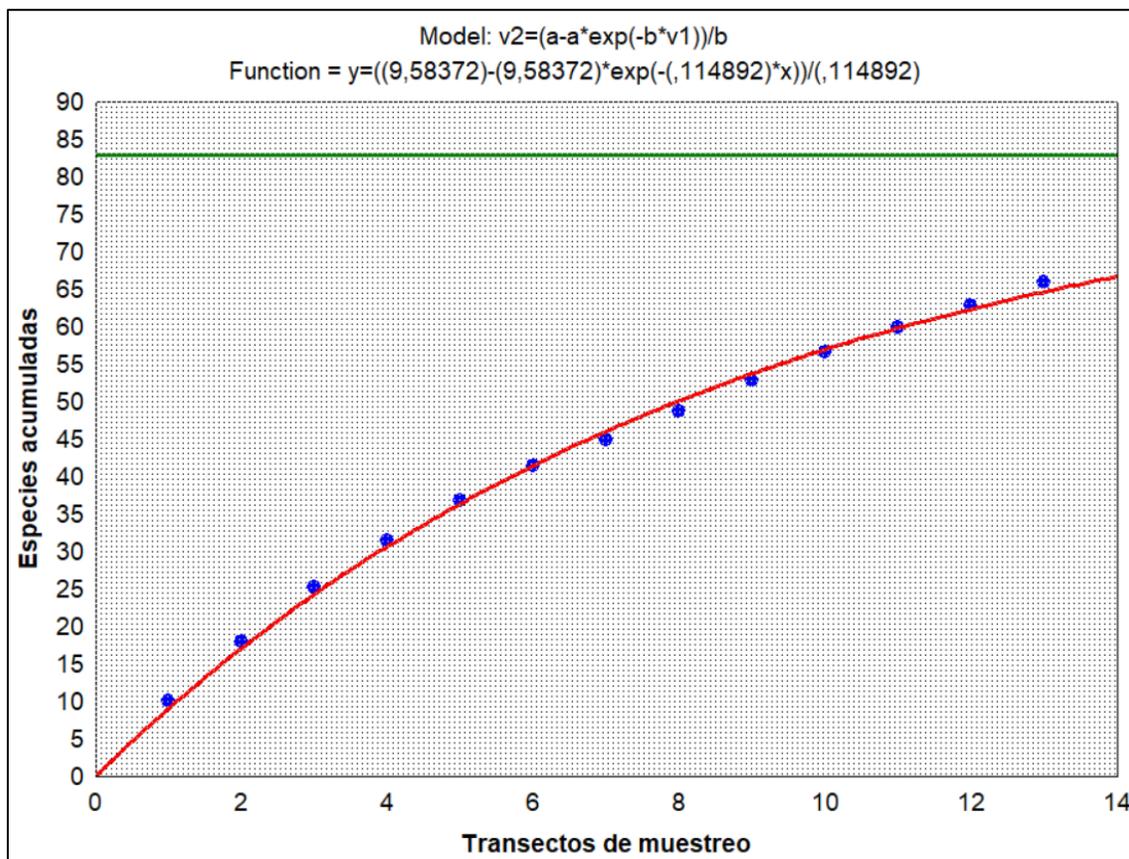


Figura 8.50. Curva de acumulación de especies presentes en las 3 zonas del área de evaluación



8.3.4.4. Composición y abundancia relativa por zona evaluada

En el área de estudio se evaluaron 3 zonas, cada una con sus formaciones vegetales asociadas, las mismas que se detallan a continuación en la Figura 8.51.

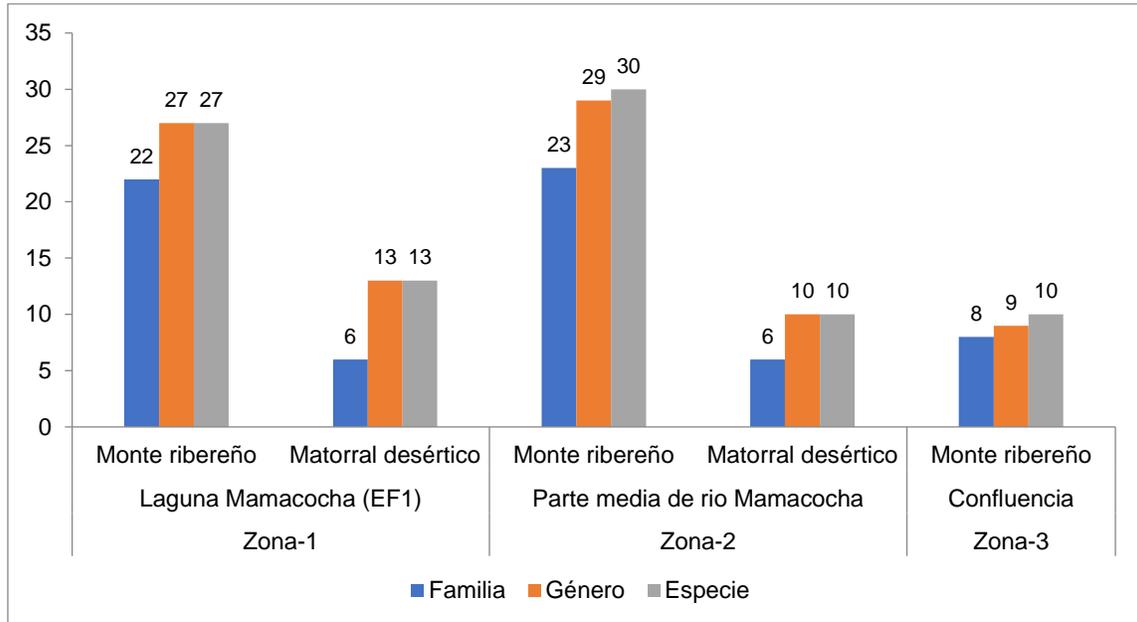


Figura 8.51. Composición florística y sus formaciones vegetales de las 3 zonas en el área de evaluación

a. Curva de acumulación de toda la evaluación

Esta zona incluye a la laguna Mamacochoa como ecosistema frágil (EF) y presenta 2 formaciones vegetales asociadas; i) monte ribereño y ii) matorral desértico. El resultado para esta zona está basado en la evaluación de 8 transectos (5 en monte ribereño y 3 en matorral desértico). Además, se reforzó la evaluación mediante colectas generales (evaluación cualitativa) de especies que no hayan sido registradas en los transectos.

- *Zona-1*

Es así que, la zona-1 registra 38 especies agrupadas en 25 familias y 38 géneros, siendo las familias Poaceae y Cactaceae las que presentan mayor cantidad de especies, entre ellas; *Aristida adscensionis*, *Arundo donax*, *Cynodon dactylon*, *Eragrostis cilianensis*, *Pennisetum clandestinum* y *Setaria verticillata* (Poaceae) y *Browningia candelaris*, *Cumulopuntia sphaerica*, *Haageocereus pluriflorus* y *Weberbauerocereus rauhii* (Cactaceae).

Asimismo, la formación vegetal monte ribereño presenta 27 especies agrupadas en 22 familias y 27 géneros, donde las familias más representativas son Poaceae y Asteraceae cada una con 3 especies. Del mismo modo, la formación vegetal matorral desértico está conformado por 13 especies agrupadas en 6 familias y 13 géneros, donde las familias con más especies son Cactaceae y Poaceae cada una con 5 y 4 especies respectivamente (Figura 8.52).

Si bien la riqueza de especies en un determinado lugar es importante, la abundancia de estas especies representa datos ecológicamente trascendentales para la caracterización florística de

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

un determinado lugar. En ese sentido, la zona-1 presenta a las especies *Schinus molle* «molle» y *Ficus carica* «higo» como las especies con mayor abundancia relativa, principalmente por ser de hábito arbóreo y, *Arundo donax* «carrizo», *Pennisetum clandestinum* «pasto» y *Lippia nodiflora* «turre hembra» (Figura 8.52).

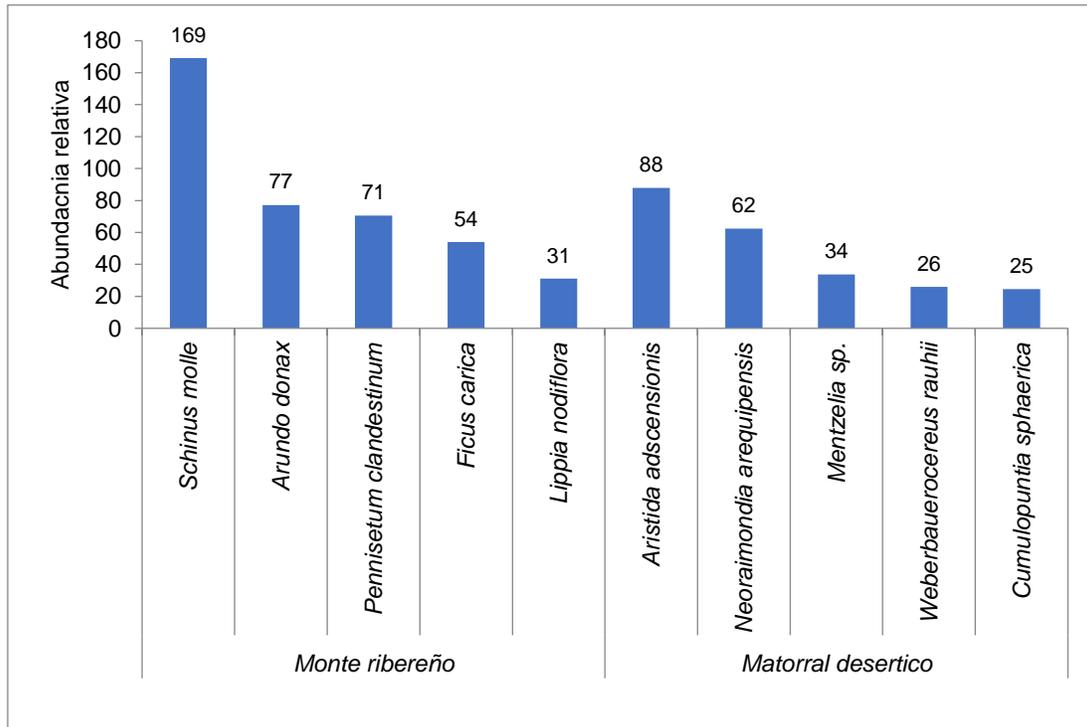


Figura 8.52. Abundancia relativa de las especies presentes en las dos formaciones vegetales de la zona-1

Asimismo, la abundancia relativa de la formación vegetal matorral desértico está bien representada por las especies de la familia Cactaceae como *Neoraimondia arequipensis*, *Weberbauerocereus rauhii* y *Cumulopuntia sphaerica*. Además de las especies *Aristida adscensionis* y *Mentzelia sp.*

- **Zona-2**

Esta zona incluye a gran tramo de la parte media del río Mamacocha como ecosistema importante para la fauna silvestre presente en el área de estudio, esta zona también presenta 2 formaciones vegetales asociadas; i) monte ribereño y ii) matorral desértico. El resultado para esta zona está basado en la evaluación de 3 transectos (2 en monte ribereño y 1 en Matorral desértico). Además, se reforzó la evaluación mediante colectas generales (evaluación cualitativa) de especies que no hayan sido registradas en los transectos.

Los resultados muestran que la zona-2 presenta 39 especies agrupadas en 25 familias y 37 géneros, donde las familias más representativas son Cactaceae y Poaceae con las especies; *Browningia candelaris*, *Cylindropuntia tunicata*, *Haageocereus pluriflorus*, *Neoraimondia arequipensis*, *Opuntia ficus-indica* y *Weberbauerocereus rauhii* (Cactaceae) y *Aristida adscensionis*, *Arundo donax*, *Cortaderia jubata*, *Eragrostis cilianensis* y *Pennisetum clandestinum*.

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

Asimismo, la formación vegetal monte ribereño presenta 30 especies agrupadas en 23 familias y 29 géneros, donde las familias más representativas son Poaceae y Asteraceae cada una con 3 especies, seguida de Cactaceae, Cyperaceae y Solanaceae cada una con 2 especies. Del mismo modo, la formación vegetal matorral desértico está conformado por 10 especies agrupadas en 6 familias y 10 géneros, donde las familias con más especies son Cactaceae y Poaceae cada una con 4 y 2 especies respectivamente (Figura 8.53).

Respecto a la abundancia relativa en la zona 2, la formación vegetal monte ribereño presenta a las especies *Schinus molle* «molle» y *Citrus limon* «limón» como las especies con mayor abundancia relativa, principalmente por ser de hábito arbóreo y, *Opuntia ficus-indica* «tuna», *Pennisetum clandestinum* «pasto» y *Boerhavia diffusa* (Figura 8.53).

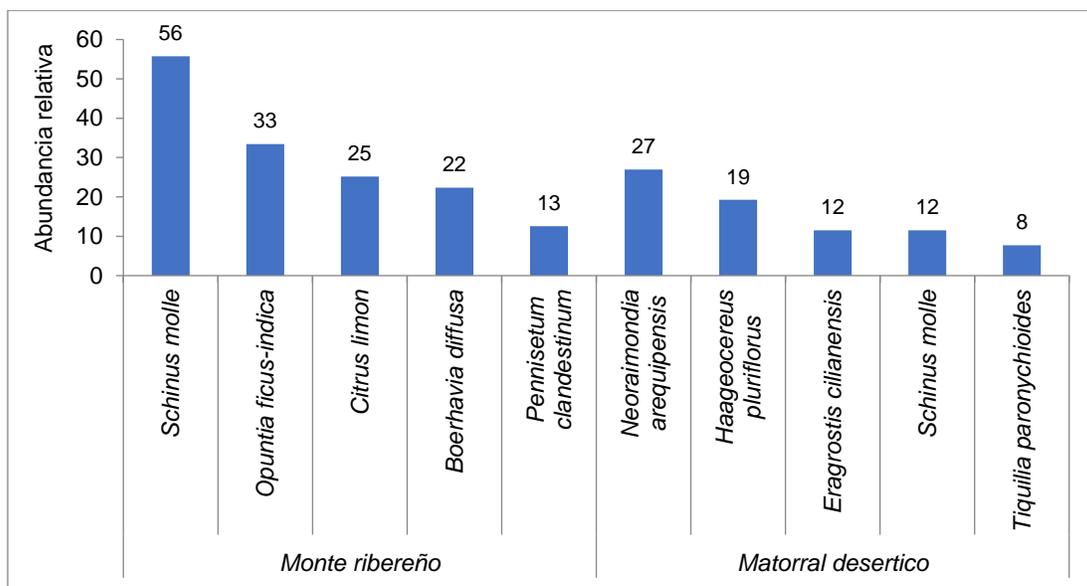


Figura 8.53. Abundancia relativa de las especies presentes en las dos formaciones vegetales de la zona-2

Asimismo, la abundancia relativa de la formación vegetal matorral desértico en la zona 2, está bien representada por las especies de la familia Cactaceae como *Neoraimondia arequipensis*, y *Haageocereus pluriflorus*. También, las especies *Eragrostis cilianensis* y *Tiquilia paronychioides* de hábito herbáceo. Además, la presencia de *Schinus molle* «molle».

- **Zona-3**

Esta zona presenta únicamente la formación vegetal monte ribereño. El resultado para esta zona está basado en la evaluación de 2 transectos en monte ribereño. Además, se reforzó la evaluación mediante colectas generales (evaluación cualitativa) de especies que no hayan sido registradas en los transectos.

Los resultados muestran que la zona 3 formada únicamente por la formación vegetal de monte ribereño presenta 10 especies agrupadas en 8 familias y 9 géneros, donde las familias más representativas son Poaceae y Solanaceae con las especies; *Arundo donax* y *Polypogon interruptus* (Poaceae) y *Solanum aff. Arequipense* y *Solanum sp* (Solanaceae), entre otras como *Schinus molle* (Anacardiaceae), *Escallonia angustifolia* (Escalloniaceae) y *Acacia macrantha* (Fabaceae) (Figura 8.54).

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

Respecto a la abundancia relativa en la zona-3, presenta a las especies *Arundo donax* «carrizo», *Schinus molle* «molle» y *Escallonia angustifolia* «chachacomo» como las especies con mayor abundancia relativa, principalmente por ser de hábito arbóreo y, *Ricinus communis* «higuerilla» (Figura 8.54).

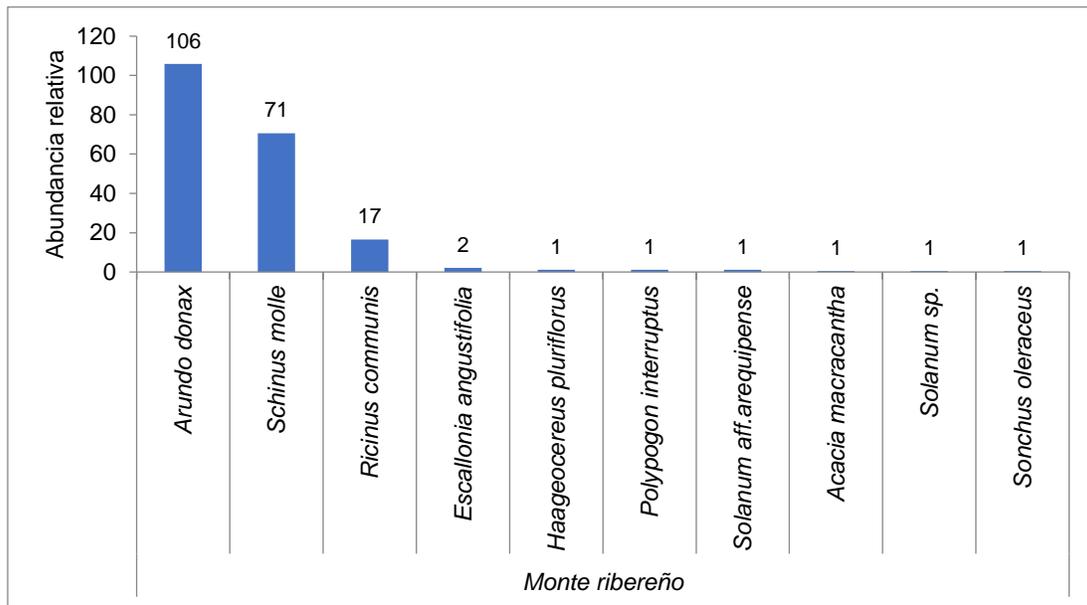


Figura 8.54. Abundancia relativa de las especies presentes en las dos formaciones vegetales de la zona-3

La abundancia relativa de las especies por cada transecto evaluado nos muestra la importancia de estas especies cuando se caracteriza un determinado lugar, más aún cuando se plasma en figuras. En ese sentido, la Figura 8.55 muestra como las especies se agrupan de acuerdo a las variables presencia-ausencia y cuan abundantes son cuando están presentes. Asimismo, la figura evidencia 2 grupos principales; i) el que corresponde a matorral desértico y ii) otro a monte ribereño.

La evaluación muestra como resultado que, para la formación vegetal matorral desértico las especies dominantes corresponde a la familia Cactaceae, entre ellas: *Neoraimondia arequipensis*, *Opuntia ficus-indica*, *Cumulopuntia sphaerica*, *Browningia candelaris*, *Haageocereus pluriflorus* y *Weberbauerocereus rauhii*, seguida de *Aristida adscensionis* y *Cynodum dactylon* (Poaceae) entre otras unicadas.

Asimismo, para la formación vegetal monte ribereño es notoria la abundancia de las especies *Schinus molle* (Anacardiaceae), *Arundo donax* y *Pennisetum clandestinum* (Poaceae) y *Ficus carica* (Moraceae), *Salix humboldtiana* (Salicaceae) entre otras como *Citrus limón* (Rutaceae), *Sapindus cf. Saponaria* (Sapindaceae) y *Musa paradisiaca* (Musaceae) como se detalla en la Figura 8.55.



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA

SSIM: Subdirección de Sitios Impactados

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

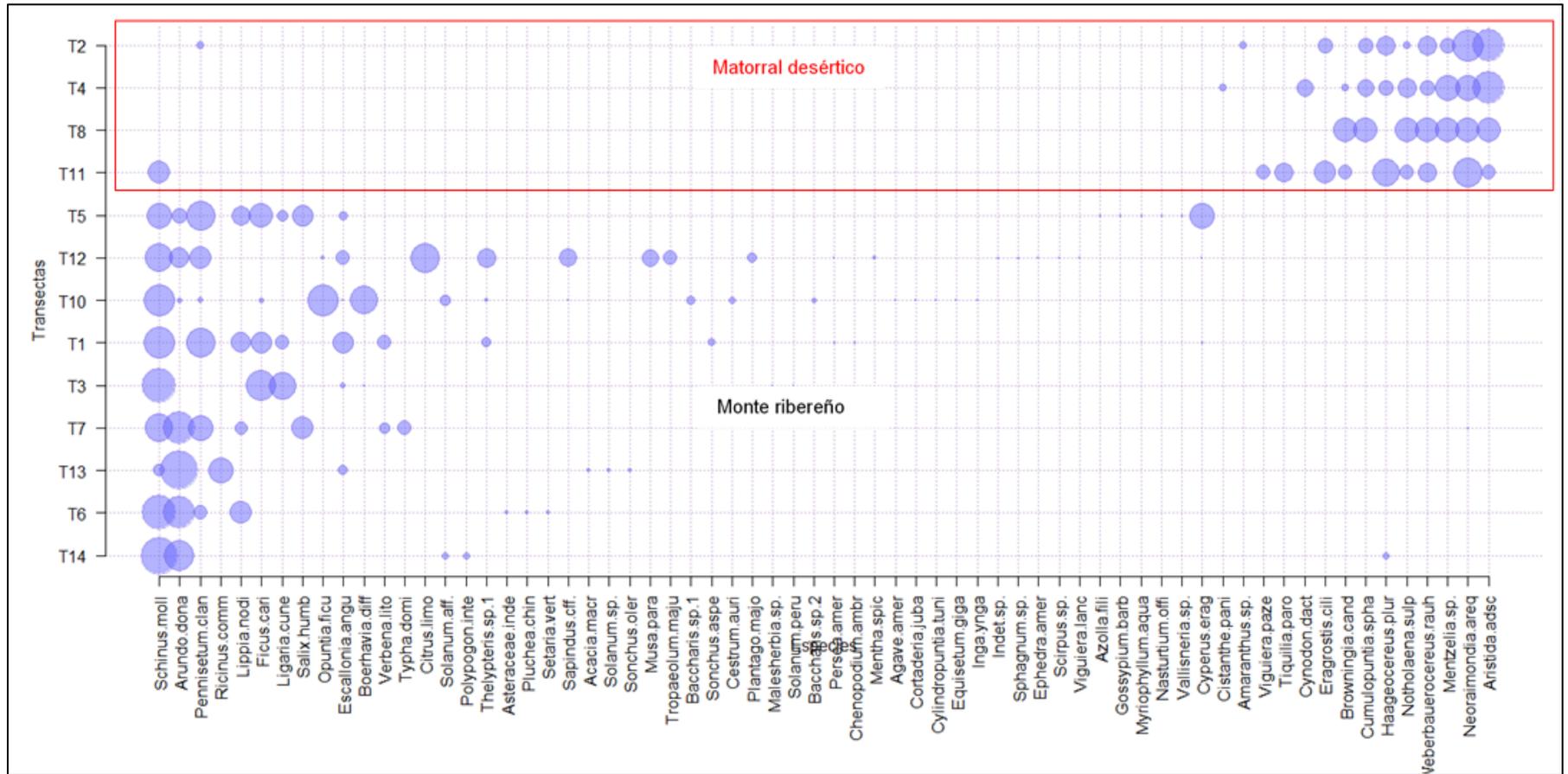


Figura 8.55. Abundancia relativa de las especies de flora silvestre por transectos evaluados y presentes en las dos formaciones vegetales registradas en el área de estudio



8.3.4.5. Cobertura vegetal

Los valores de la cobertura vegetal en el área de estudio por zonas y por formación vegetal presentaron valores altos para el monte ribereño y bajos para matorral desértico, que varían entre el 5 y 100 %.

En la zona-1, la cobertura vegetal en monte ribereño oscila entre 52 y 93 %, presentando una cobertura promedio de 79,2 %. Asimismo, el matorral desértico en promedio presenta un 18,3 % de cobertura vegetal. Para la zona-2, ocurre el mismo patrón, donde la cobertura vegetal en monte ribereño oscila entre 80 y 100 %, presentando una cobertura promedio de 90 %, y del mismo modo, para el matorral desértico con 14 % de cobertura. En la zona-3, la cobertura vegetal oscila entre 30 y 31 %, presentando una cobertura promedio de 30,5 % de monte ribereño (Tabla 8.14).

Tabla 8.14. Cobertura vegetal por transecto, formación vegetal, y zonas, presente en el área de estudio

Zona	Formación vegetal	Código Transecto	Cobertura vegetal (%)	Cobertura Promedio por Formación Vegetal
Zona-1	Monte ribereño	LA-FL-T1	88	79,2
		LA-FL-T3	93	
		LA-FL-T5	79	
		LA-FL-T6	52	
		LA-FL-T7	84	
	Matorral desértico	LA-FL-T2	28	18,3
		LA-FL-T4	22	
		LA-FL-T8	5	
Zona-2	Monte ribereño	LA-FL-T10	80	90
		LA-FL-T12	100	
	Matorral desértico	LA-FL-T11	14	14
Zona-3	Monte ribereño	LA-FL-T13	31	30,5
		LA-FL-T14	30	

8.3.4.6. Análisis de diversidad

a. Diversidad alfa

Para los análisis de diversidad se consideraron los datos obtenidos en los transectos evaluados, considerando un total de 66 especies. Se observa que la riqueza de especies fluctúa por transecto entre 5 y 19 especies. Asimismo, los valores de diversidad varían de acuerdo a la formación vegetal estudiada. Por lo tanto, los valores representados por el índice de Shannon-Wiener (H') en los transectos realizados fluctúa entre 0,77 y 2,17. Del mismo modo, el índice de dominancia de Simpson fluctúa entre 0,14 y 0,54, y el de equidad fluctúa entre 0,39 y 0,89 (Tabla 8.15).

Tabla 8.15. Índices de diversidad alfa obtenido en los transectos de las zonas evaluadas

Zonas	Formación Vegetal	Código Transecto	Especies	Individuos	Índice de Dominancia (D)	Índice de Shannon-Wiener (H)	Equidad
Zona-1	Monte ribereño	LA-FL-T1	12	275	0,2069	1,847	0,7432
		LA-FL-T3	7	332	0,3587	1,136	0,5836
		LA-FL-T5	14	272	0,1524	2,058	0,7798
		LA-FL-T6	7	173	0,3698	1,18	0,6063
		LA-FL-T7	8	273	0,2452	1,606	0,7724



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

Table with 8 columns: Zonas, Formación Vegetal, Código Transecto, Especies, Individuos, Índice de Dominancia (D), Índice de Shannon-Wiener (H), and Equidad. It lists data for various transects across three zones and two vegetation types.

La mayor diversidad representada por el índice de Shannon-Wiener (H') se registra en las formaciones vegetales de monte ribereño con los transectos LA-FL-T7 y LA-FL-T10 con una diversidad de 0,25 y 0,27 nits/individuo respectivamente; sin embargo, la diversidad promedio del monte ribereño es de 1,46 nits/individuo. Asimismo, la diversidad promedio en la formación vegetal de matorral desértico es de 1,90 nits/individuo, teniendo valores pico de 1,69 y 2,06 nits/individuo. Los índices de equidad y dominancia de Simpson respaldan lo mostrado por el índice de Shannon. Los índices de diversidad alfa se muestran en las Figuras 8.56 y 8.14.

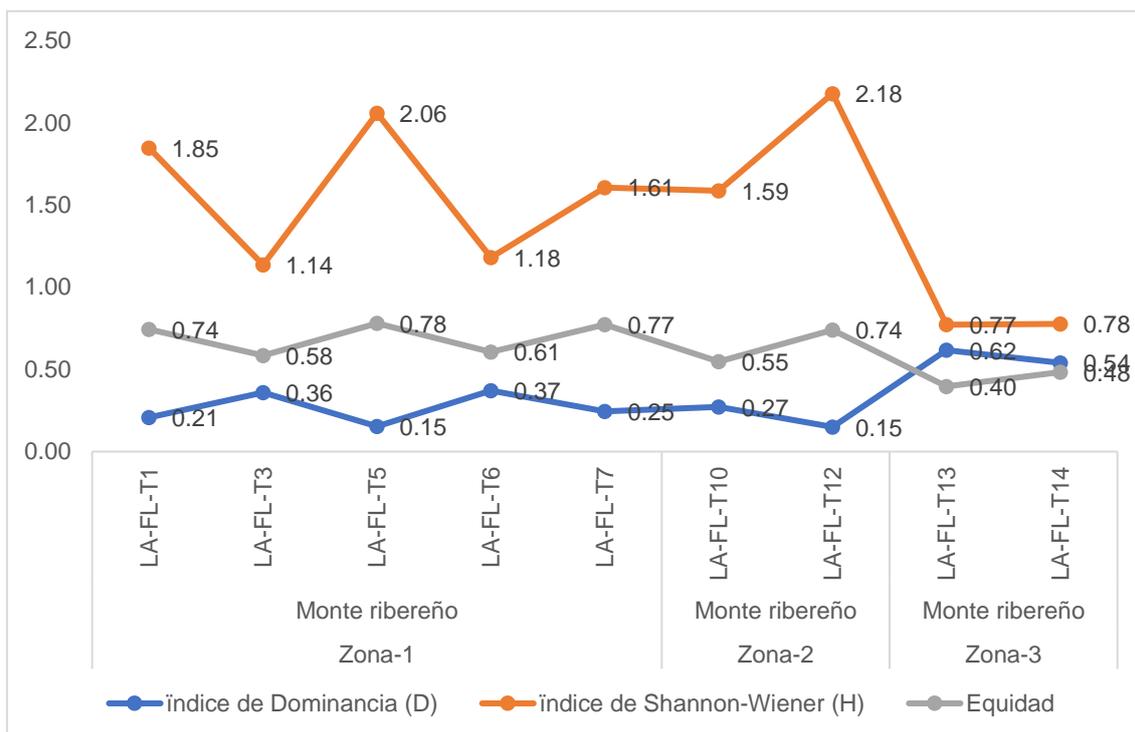


Figura 8.56. Índices de diversidad alfa de los transectos en las formaciones vegetales de monte ribereño

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

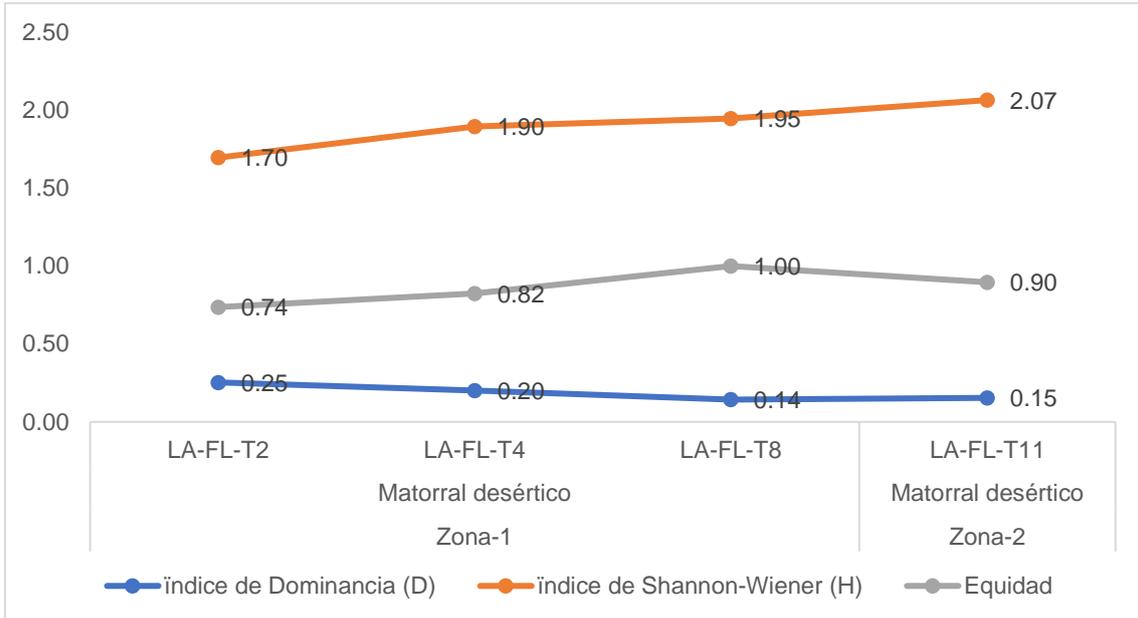


Figura 8.57. Índices de diversidad alfa de los transectos en las formaciones vegetales de matorral desértico

El índice de equidad de Pielou mide la proporción de la diversidad observada con relación a la máxima diversidad esperada, es decir que, cuanto más se acerquen a 1,0 los valores de equidad, mayor será la probabilidad de repetir la misma especie.

Asimismo, la diversidad alfa respecto a las 3 zonas evaluadas muestra a la zona-1 y zona-2 como las más diversas mostrando 38 y 39 especies respectivamente, estos valores se ven reflejados en el índice de diversidad de Shannon-Wiener, y también es corroborado por los índices de dominancia y equidad, como se detalla en la Tabla 8.16 y la Figura 8.58

Tabla 8.16. Índices de diversidad alfa obtenido en los transectos de las zonas evaluadas

Zonas	Especies	Individuos	Índice de Dominancia (D)	Índice de Shannon-Wiener (H)	Equidad
Zona-1	38	1468	0,5	2,37	0,65
Zona-2	39	903	0,13	2,46	0,67
Zona-3	10	282	0,45	1,07	0,46

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

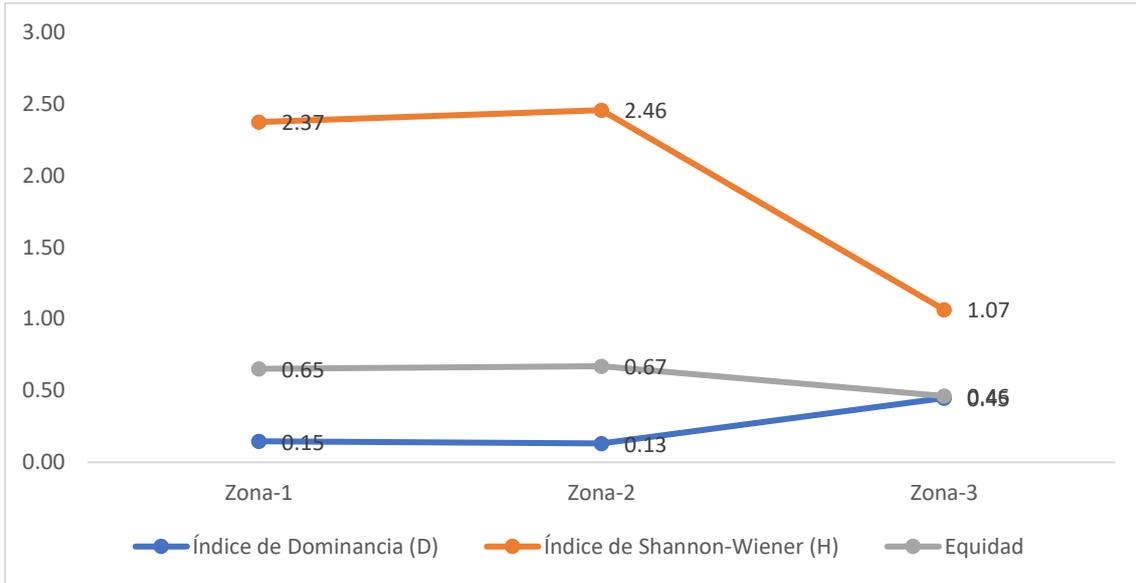


Figura 8.58. Índices de diversidad alfa en las zonas evaluadas

b. Diversidad alfa

Se obtiene un índice de similitud de Morissita bajo, entre la zona-3 con la zona-1 y zona-2, registrando valores de 0,48 y 0,32 respectivamente, evidenciándose que cada zona tiene una vegetación que las caracteriza. Se observa también, una clara similitud entre la zona-1 y zona-2 lo que indica que hay más especies compartidas entre estas 2 zonas con respecto a la zona-3 (Tabla 8.17 y Figura 8.59).

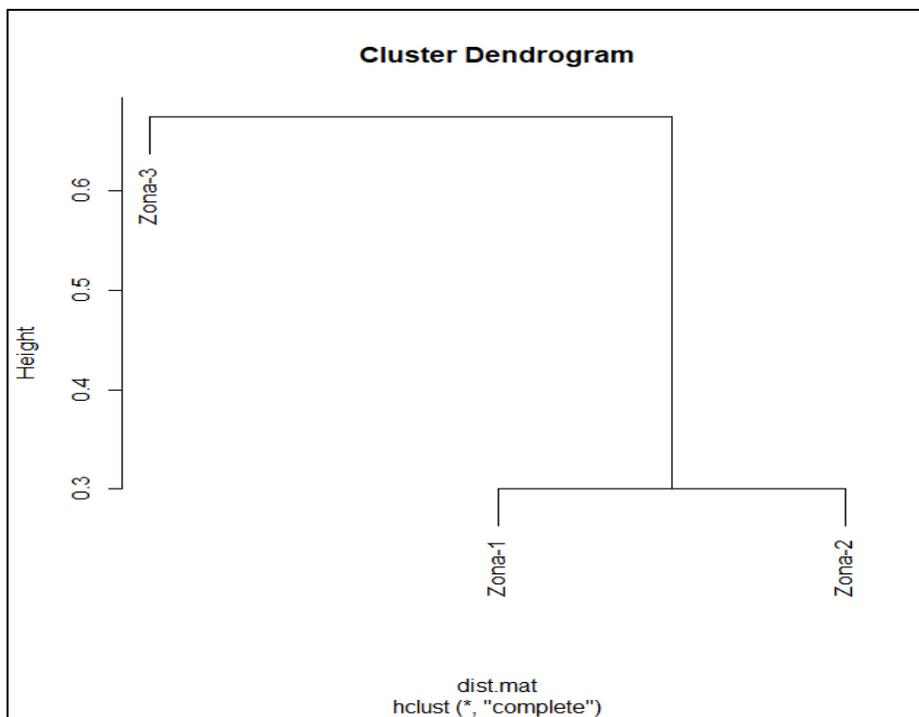


Figura 8.59. Análisis de Clúster de las zonas evaluadas en el área de estudio

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

Tabla 8.17. Índices de diversidad alfa obtenido en los transectos de las zonas evaluadas

Zonas evaluadas	Zona-1	Zona-2	Zona-3
Zona-1	1	0,69572	0,48721
Zona-2	0	1	0,32461
Zona-3	0	0	1

8.3.4.7. Análisis NMDS

El análisis de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS), utilizando el índice de Morisita, muestra visualmente la similitud entre los transectos evaluados, presentándolos en 2 grupos bien diferenciados. Los transectos agrupados en el grupo 1 corresponden a los transectos evaluados en la formación vegetal de monte ribereño y, los transectos agrupados en el grupo 2 corresponden a los transectos evaluados en la formación vegetal de matorral desértico, en este último grupo se observa que los transectos están menos dispersos lo que indica la mayor afinidad de estos, basado principalmente por las especies que la componen en este ecosistema (Figura 8.60).

Asimismo, es corroborado por el análisis de cluster, el cual agrupa los transectos de cada formación vegetal y las diferencias tomando en cuenta las variables de riqueza (diversidad alfa) y abundancia (abundancia relativa).

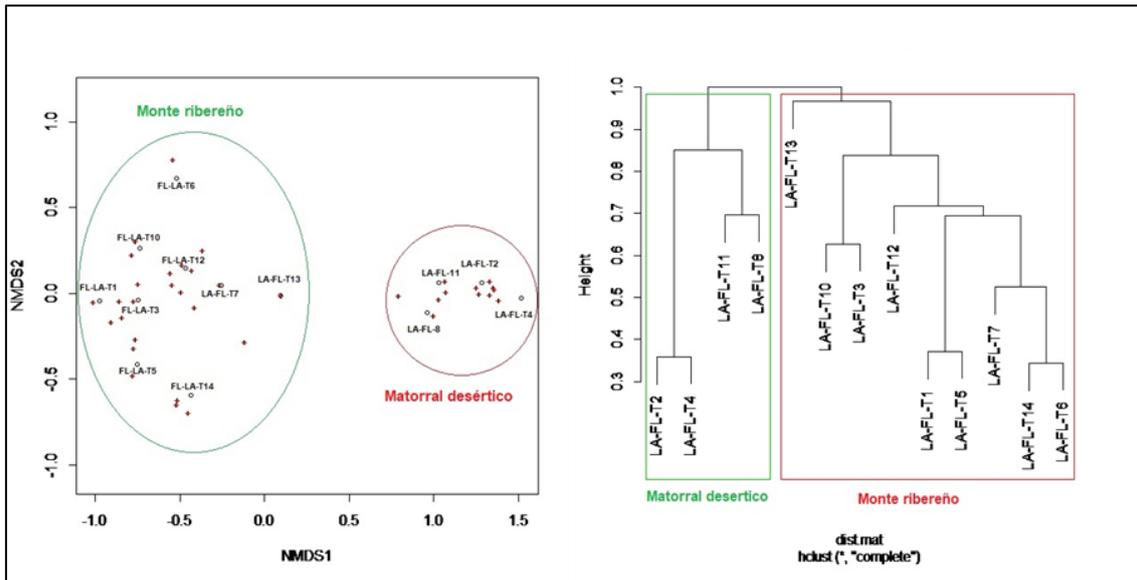


Figura 8.60. Análisis de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS) y cluster con los transectos evaluados en el área de estudio

8.3.4.8. Especies protegidas

De acuerdo a los criterios de estado de conservación de las listas de categorización nacional e internacional, se encontraron 18 especies de plantas vasculares incluidas en estas listas (Tabla 8.18), que representan un 24,32 % del total de las especies registradas en el presente estudio. Siendo la familia Cactaceae la que presenta mayor número de especies.

De las 18 especies, 4 se encuentran protegidas por la legislación peruana según la Categorización Nacional de Especies Amenazadas de Flora Silvestre (D.S. N.º 043-2006-AG) y se listan en la Tabla 8.18. Las 4 especies se encuentra en la categoría de Casi Amenazado (NT): *Weberbauerocereus rauhii*, un cactus arbustivo o arbóreo, con tronco corto, hasta 6 m de alto, especie cercanamente relacionada a



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

Weberbauerocereus weberbaueri; ambas ocupan ambientes similares, sin embargo, sus rangos de distribución no se sobreponen. *Cumulopuntia sphaerica*, cactus que generalmente esta postrada en el suelo, presenta hojas carnosas cilíndricas armadas de espinos, de color verde y flores de color naranja. *Browningia candelaris*, que alcanza una altura de hasta 5 metros, y tiene un porte arbóreo ramificado y bien armado con espinas rectas de color marrón cuya longitud es de 6-15 cm, las ramas más altas pueden tener o no espinas. *Acacia macracantha*, árbol espinoso de hasta 10 m de altura, con tallo de color gris oscuro, hojas compuestas de color verde oscuro a claro, y flores de color amarillo a manera de cabezuela, presenta frutos en forma de vaina de color marrón claro.

De las 18 especies, 16 se encuentra en la lista roja de la IUCN (2019), de ellas, las que se encuentra en una situación de Datos Insuficientes (DD) son *Browningia candelaris* y *Opuntia ficus-indica*, es decir, se necesita más información, y 14 de ellas se encuentran en Preocupación Menor (LC), lo que significa que aún se encuentran poblaciones bien conservadas de estas especies (Tabla 8.18).

Respecto a los apéndices CITES (2015), se encontró 7 especies dentro del apéndice II (Tabla 8.18), todas ellas de la familia Cactaceae.

Tabla 8.18. Especies categorizadas según la legislación nacional e internacional, presentes en el área de estudio

Familia	Especie	Endémico	IUCN (2019)	Legislación Nacional (D.S. N° 042-2006 AG)	CITES (2017) APENDICE
Cyperaceae	<i>Cyperus eragrostis</i>	-	LC	-	-
Poaceae	<i>Arundo donax</i>	-	LC	-	-
Cactaceae	<i>Neoraimondia arequipensis</i>	AR, IC, LI.	LC	-	-
Cactaceae	<i>Weberbauerocereus rauhii</i>	AR, AY, HV, IC.	LC	NT	II
Cactaceae	<i>Cumulopuntia sphaerica</i>	-	LC	NT	II
Cactaceae	<i>Haageocereus pluriflorus</i>	AR.	-	-	II
Cactaceae	<i>Browningia candelaris</i>	-	DD	NT	II
Cactaceae	<i>Opuntia ficus-indica</i>	-	DD		II
Cactaceae	<i>Cylindropuntia tunicata</i>	-	LC		II
Fabaceae	<i>Acacia macracantha</i>	-		NT	-
Lauraceae	<i>Persea americana</i>	-	LC	-	-
Moraceae	<i>Ficus carica</i>	-	LC	-	-
Plantaginaceae	<i>Veronica anagallis-aquatica</i>	-	LC	-	-
Plantaginaceae	<i>Plantago major</i>	-	LC	-	-
Salicaceae	<i>Salix humboldtiana</i>	-	LC	-	-
Verbenaceae	<i>Lippia nodiflora</i>	-	LC	-	-
Ephedraceae	<i>Ephedra americana</i>	-	LC	-	-
Brassicaceae	<i>Nasturtium officinale</i>	-	LC	-	-



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

Asimismo, se registraron 3 especies endémicas, que corresponde a la familia Cactaceae con las especies *Neoraimondia arequipensis*, *Weberbauerocereus rauhii* y *Haageocereus pluriflorus*. Las 3 especies endémicas corresponden al 4,05 % del total registrada para el área de estudio. Todas las especies endémicas y su distribución departamental se muestran en la Tabla 8.18.

8.3.5. Fauna

Los resultados de fauna silvestre se describen por cada grupo taxonómico (anfibios y reptiles, aves y mamíferos), donde para cada uno se describió la composición, riqueza y abundancia y diversidad de especies, considerando los ecosistemas frágiles con sus hábitats asociados (EF).

Los hábitats terrestres se definieron considerando las formaciones vegetales determinadas por el componente de flora silvestre. Adicionalmente, se evaluó el hábitat de pajonal, para el caso de la evaluación de anfibios y reptiles, y aves. Cabe resaltar que, se consideró como hábitat acuático, la laguna Chullumpicocha, solo para el caso de la evaluación de aves.

8.3.5.1 Anfibios y reptiles

a. Composición y abundancia de anfibios y reptiles

Durante la evaluación herpetológica realizada en la EAT realizada en el área de influencia del proyecto Laguna Azul, se registró la presencia de 3 especies de reptiles, distribuidas en 3 familias y pertenecientes al orden Squamata, las cuales se describen en la Tabla 8.19. No se registró ninguna especie de anfibio durante las evaluaciones.

Tabla 8.19. Orden, familia y especies de reptiles registrados en el área de estudio

N.º	Clase	Orden	Familia	Especies	Nombre común*
1	Reptilia	Squamata	Tropiduridae	<i>Microlophus</i> sp.	Lagartija
2			Phyllodactylidae	<i>Phyllodactylus gerrhopygus</i>	Salamanqueja
3			Dipsadidae	<i>Pseudalsophis elegans</i>	Culebra de la costa

*Nombre común citado en la Lista Roja de las Especies Amenazadas (IUCN, 2019)

Se obtuvieron un total de 31 registros de reptiles durante las evaluaciones realizadas en el área de estudio, siendo *Microlophus* sp. «lagartija» la que presentó los mayores valores de abundancia (29 individuos; 93,548 %), seguida de *Phyllodactylus gerrhopygus* «salamanqueja» y *Pseudalsophis elegans* «culebra de la costa», ambas con un solo registro (3,226 %). En la Figura 8.61 se detallan las abundancias relativas de todas las especies registradas.

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

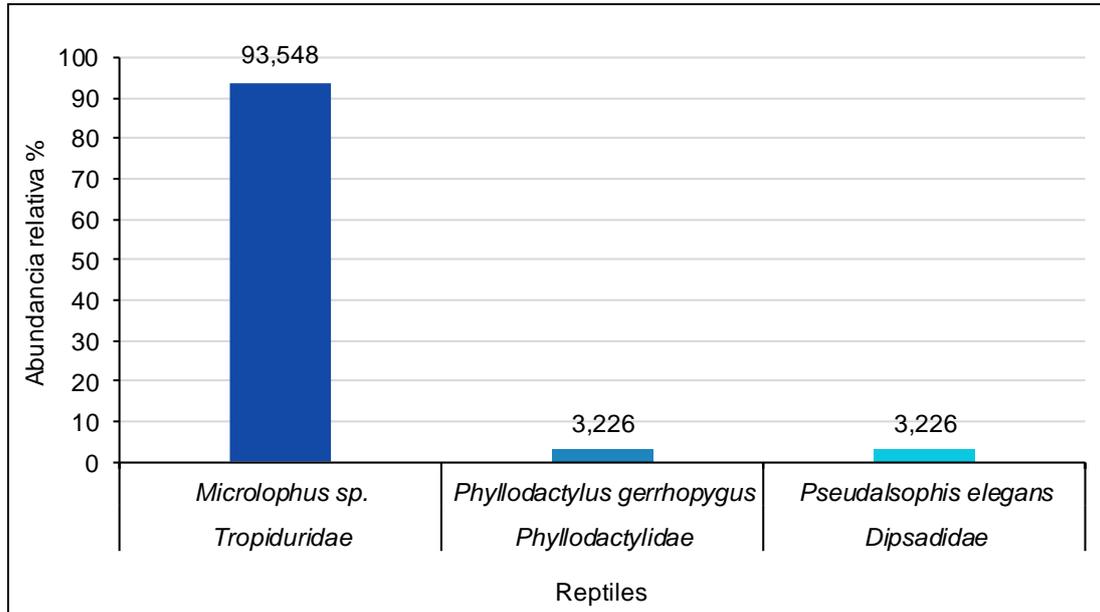


Figura 8.61. Abundancia relativa de los reptiles registrados en el área de influencia del proyecto Laguna Azul

b. Curva de acumulación de especies

El análisis de la curva de acumulación de especies mediante el modelo exponencial negativo para los reptiles registrados en las 16 evaluaciones (VES), muestra que las especies esperadas en este estudio coincide con el número de especies observadas en campo (3 especies), obteniéndose los parámetros de la función ($a= 0,497513$ y $b= 0,168768$).

El valor de la asíntota de la curva, que representa la riqueza máxima esperada de reptiles durante las evaluaciones, es de 3 especies (a/b); por lo cual podemos deducir que, mediante el esfuerzo realizado, se ha representado a toda la comunidad de especies de reptiles presentes en el área del proyecto; asimismo, el coeficiente de determinación R^2 tuvo un valor de 0,94 que representa un ajuste aceptable al modelo exponencial negativo (cercano a 1). (Figura 8.62). Cabe resaltar que el modelo exponencial negativo es recomendado para la evaluación de áreas con reducida extensión, donde todas las especies tienen altas probabilidades de ser registradas (Jiménez-Valverde y Hortal, 2003).

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

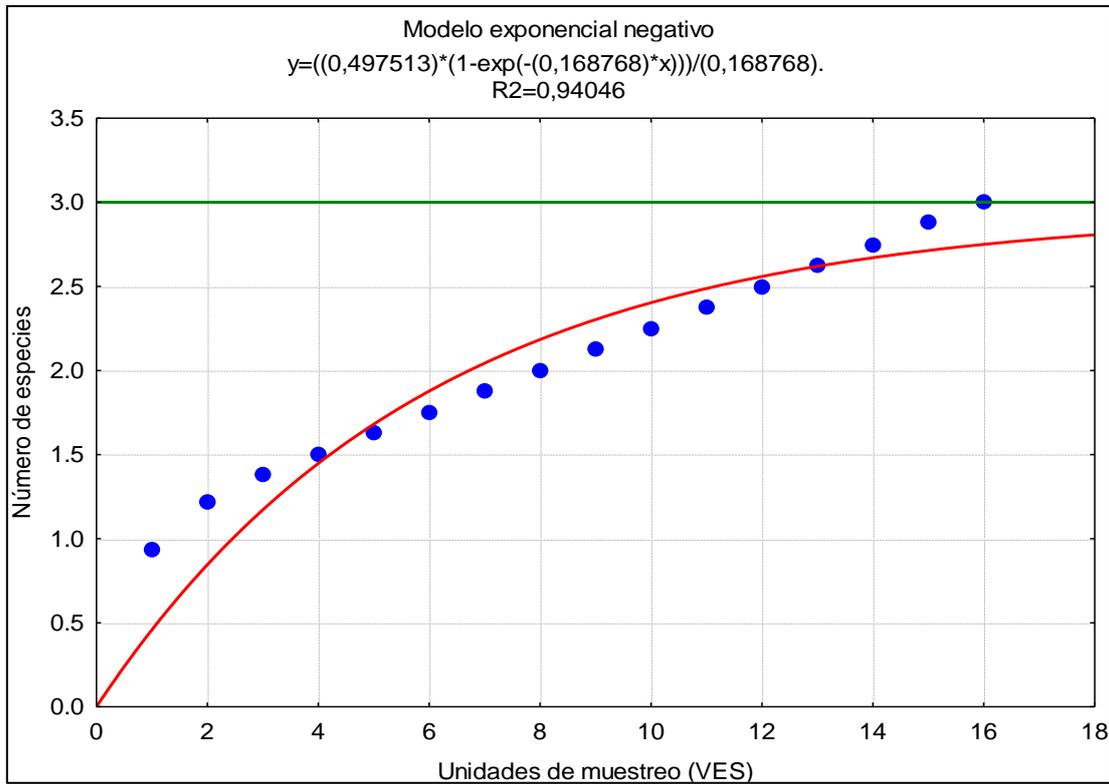


Figura 8.62. Curva de acumulación de especies de reptiles en el área de estudio

c. Descripción de la herpetofauna por zonas de evaluación

En esta sección se detallan los resultados de la riqueza y abundancia de las especies de anfibios y reptiles registrados en las diferentes zonas evaluadas en el ámbito del proyecto Laguna Azul.

Riqueza y abundancia de anfibios y reptiles por zonas de evaluación

Se determinaron 3 zonas de evaluación en el área del proyecto Laguna Azul, las cuales fueron distribuidas de acuerdo con el grado de afectación que podrían tener las futuras operaciones del proyecto Laguna Azul en las especies de anfibios y reptiles presentes.

Los resultados muestran que la zona-1 presentó la mayor riqueza y abundancia de especies en toda el área de evaluación, registrándose las 3 especies de reptiles observadas, siendo *Microlophus* sp. la especie más abundante en todo el estudio con 20 individuos. Por otro lado, en la zona-2 se registró únicamente la presencia *Microlophus* sp. con 9 individuos. No se registraron especies de anfibios o reptiles en la zona-3. En la Figura 8.63 se detallan los valores de riqueza y abundancia registrados para los reptiles por zonas de evaluación.

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

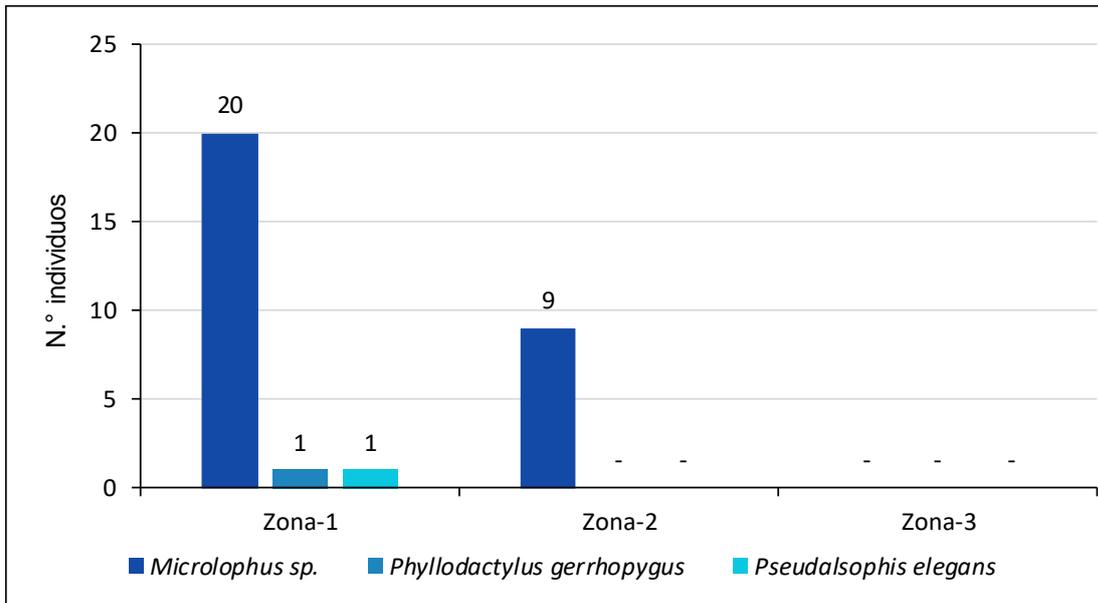


Figura 8.63. Riqueza y abundancia de reptiles por zonas evaluadas

A continuación, se presentan de forma detallada las riquezas y abundancias de las especies de reptiles registrados en cada zona de evaluación.

Zona-1

Esta zona de evaluación se encuentra conformada por la laguna Mamacochoa y la vegetación ribereña que la rodea, con presencia de arbustos de gran tamaño y áreas con cactáceas columnares. La variedad de microhábitats en esta zona de evaluación permitió el registro de las 3 especies de reptiles observadas durante el estudio. La especie más abundante, *Microlophus sp.*, fue registrada principalmente sobre las rocas en los alrededores de la laguna, mientras que *Phyllodactylus gerrhopygus* se encontró bajo una roca de mediano tamaño, mimetizándose con el entorno. Por otro lado, la especie *Pseudalsophis elegans* estuvo asociada a sectores cercanos a la vegetación ribereña, donde se la observó desplazándose en el suelo.

Zona-2

Esta zona abarca la sección media del río Mamacochoa, un área con mucha pendiente, donde no se puede acceder al borde del río debido a lo accidentado del terreno. No obstante, las evaluaciones se realizaron siguiendo el curso del río, en aquellos probables microhábitats para las especies de anfibios o reptiles presentes. La zona estuvo conformada por vegetación de matorral desértico, presentándose cactáceas columnares dispersas en áreas sin vegetación, con algunos parches de arbustos secos y rocas de diferentes tamaños. La especie *Microlophus sp.* fue la única y más abundante especie en toda esta zona de evaluación, siendo registrada principalmente sobre las rocas y ocultándose bajo las mismas ante cualquier movimiento.

Zona-3

Esta zona corresponde a la intersección de los ríos Mamacochoa y Colca, un área muy accidentada y de terreno irregular, donde fue difícil el acceso y evaluación correspondiente. La vegetación estuvo conformada por arbustos de diferentes tamaños a lo largo del río, los cuales no permitían el acceso directo al cuerpo de agua. Asimismo, la elevada pendiente de



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

la zona restringió el camino hacia algunos sectores, por lo cual no se registró alguna especie de anfibio o reptil; no obstante, se observaron microhábitats adecuados para su probable presencia. Cabe resaltar que actualmente en esta zona se viene construyendo un puente que cruza el río Colca para conectar los distritos de Huambo y Ayo, para lo cual se desarrollan trabajos de remoción de suelos, lo que conlleva al desprendimiento de rocas muy cerca del área de evaluación.

Diversidad de anfibios y reptiles por zonas

La zona de evaluación que presentó los mayores índices de diversidad de reptiles fue la zona-1 ($H'=0,530$ bits/ind), debido a la presencia de las 3 especies registradas durante la evaluación. Por otro lado, las zonas-2 y 3 registraron 1 o ninguna especie por lo que no se pudieron realizar los índices de diversidad correspondientes ($H'=0$ bits/ind). Respecto a la dominancia, el índice de Simpson (1-D) en la zona-1 muestra una mayor dominancia de la especie *Microlophus* sp. por sobre el resto, registrándose un valor bajo ($1-D=0,169$), lo cual se relaciona con los resultados del índice de equidad de Pielou ($J'=0,335$). Los resultados se muestran en la Tabla 8.20

Tabla 8.20. Abundancia, riqueza e índices de diversidad de los anfibios y reptiles por zonas de evaluación

Índices de Diversidad	Zona-1	Zona-2	Zona-3
Riqueza e especies	3	1	0
Nº de Individuos	22	9	0
Índices de Shannon-Winner (H')	0,530	0	0
Índice de Simpson (1-D)	0,169	0	-
Índice de Pielou (J')	0,335	-	-

Similaridad por zonas

El análisis de similaridad de Morisita, para las especies de reptiles registrados, muestra una agrupación entre las zonas de evaluación 1 y 2 con una similaridad casi del 100 %, debido a que comparten especies en abundancias similares como es el caso de la especie *Microlophus* sp. Por el contrario, la zona-3 se presenta aislada del resto, debido a que no se registraron especies de reptiles en sus inmediaciones (ver Figura 8.64).

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

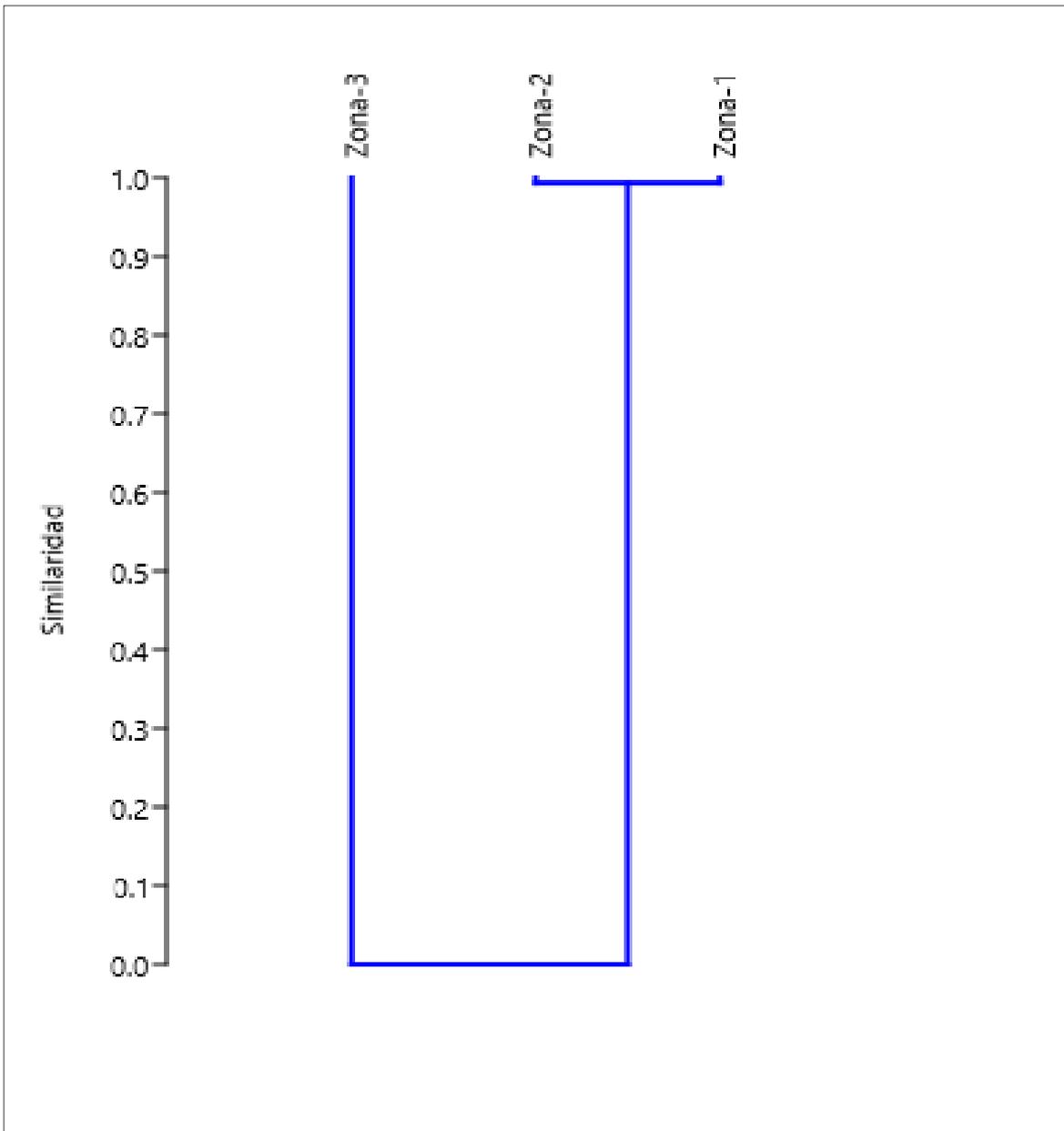


Figura 8.64. Similaridad de Morisita entre las diferentes zonas evaluadas

d. Especies incluidas en categorías de conservación y/o endémicas registradas en el área de estudio

Los resultados, muestran que, de las 3 especies de reptiles registradas, solo la *Phyllodactylus gerrhopygus* «salamanqueja» y la especie *Pseudalsophis elegans* «culebra de la costa» se encuentran incluidas en la categoría de Preocupación Menor por parte de la IUCN (2019). Asimismo, ninguna de las especies registradas se encontró bajo alguna categoría de conservación por la legislación peruana (D.S. N.º 004-2014-MINAGRI) o categoría CITES (2017). Respecto a los endemismos, la especie *Microlophus* sp. «lagartija» es la única especie que se encuentran distribuida únicamente en territorio peruano, siendo el área de estudio parte de su probable rango de distribución. Los detalles se muestran en la Tabla 8.21.

**Tabla 8.21.** Lista de especies de reptiles incluidos en categorías de conservación o endémicos registradas en el área de estudio.

Familia	Especies	Nombre común	CITES	IUCN	D.S. 004-2014-MINAGRI	Especies endémicas
Tropiduridae	<i>Microlophus</i> sp.	Lagartija	-	-	-	X
Phyllodactylidae	<i>Phyllodactylus gerrhopygus</i>	Salamanqueja	-	LC	-	-
Dipsadidae	<i>Pseudalsophis elegans</i>	Culebra de la costa	-	LC	-	-

e. Usos actuales y potenciales de los anfibios y reptiles.

Los pobladores locales mencionan que ninguna de las especies de reptiles registradas presenta algún tipo de uso medicinal o alimenticio. No obstante, existe la costumbre de matar a cualquier culebra que se encuentre en las inmediaciones de sus casas y campos de cultivo, lo cual podría influir en la abundancia de estas especies.

8.3.5.2 Aves**a. Composición y abundancia de aves**

En la evaluación ambiental temprana realizada en la central hidroeléctrica Laguna Azul, se registró mediante búsquedas intensivas (LA-Av) un total de 20 especies de aves, pertenecientes a 15 familias y 8 órdenes taxonómicos. El orden con mayor número de especies fue Passeriformes con 9 especies que representaron el 45 % del total, seguido del orden Apodiformes con 4 especies que representaron el 20 % del total, el orden Gruiformes registró 2 especies que representaron el 10 %. Los órdenes restantes (Cathartiformes, Pelecaniformes, Columbiformes, Falconiformes y Pelecaniformes) registraron solo una especie, representando el 25 % del total (Tabla 8.22).

Tabla 8.22. Orden, familia y especies de aves registradas en el área del proyecto Laguna Azul

Orden	Nº Familias	Nº Especies	Porcentaje
Accipitriformes	1	1	5,26
Apodiformes	2	4	21,05
Cathartiformes	1	1	5,26
Falconiformes	1	1	5,26
Gruiformes	1	2	10,53
Passeriformes	7	9	47,37
Pelecaniformes	1	1	5,26

Las familias Apodidae (vencejos), Hirundinidae (golondrinas), Rallidae (pollas de agua), Trochilidae (picaflores) y Tyrannidae (mosqueros) registraron 2 especies cada una, que representaron el 50 % del total de especies. Las 10 familias restantes presentaron solo una especie y representaron el 50 % del total de especies.

Los hirundínidos (Hirundinidae) son una familia de aves passeriformes que comprende a las golondrinas y los aviones. Son pájaros de tamaño pequeño o mediano (de 11 a 22 cm) que se alimentan de insectos en vuelo. Tienen el cuerpo esbelto y fusiforme y las alas largas, y muchas especies tienen la cola ahorquillada (Sheldon *et al.*, 2005).

La familia Rallidae se caracteriza por tener especies sigilosas y difíciles de observar, la mayoría de éstas presentan cuerpos angostos que les permiten moverse fácilmente entre la vegetación sin ser detectados. Estas son aves macrodáctilas, caracterizadas por su cabeza chica y cuello no muy largo; y pico comprimido lateralmente y de forma variable, tienen alas cortas y redondeadas no alcanzando a la mitad de la cola, la cual es mediana, redondeada o cónica y compuesta de 12 a 16 timoneras rectrices, tarsos largos y dedos



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

prolongados con el pulgar que apoya bien en el suelo. Los dedos largos, en algunos géneros están contorneados por una ligera membrana y en otros es más extensa y lobada que les permite nadar con facilidad (Taylor, 1998).

Los tiránidos son pájaros de tamaño entre mediano y minúsculo (de 6,5 a 28 cm). Su plumaje es generalmente una combinación variada de negro, pardo, blanco, amarillo y verde. Muchos tienen una cresta eréctil. La familia presenta una gran diversidad en las proporciones corporales, la forma y la estructura del pico, y la longitud de las patas (Fjeldsa y Krabbe, 1990).

Los colibríes son considerados las aves más pequeñas del mundo, las que tienen menos plumas, las del metabolismo y las de movimiento de alas más rápido (hasta 80 aletazos por segundo). Ellos han desarrollado características morfológicas, fisiológicas y ecológicas que les permite suplir sus requerimientos energéticos principalmente a base de néctar floral, la organización temporal y espacial de las comunidades de estas aves está influenciada por las demandas específicas de energía, además del comportamiento inter e intraespecífico en diferentes comunidades (Gutiérrez y Rojas, 2001).

Tabla 8.23. Familia y número de especies registradas en el área de estudio

Familias	Nº Especies	Porcentaje
Accipitridae	1	5,26
Apodidae	2	10,53
Ardeidae	1	5,26
Cathartidae	1	5,26
Emberizidae	1	5,26
Falconidae	1	5,26
Furnariidae	1	5,26
Hirundinidae	2	10,53
Rallidae	2	10,53
Thraupidae	1	5,26
Trochilidae	2	10,53
Troglodytidae	1	5,26
Turdidae	1	5,26
Tyrannidae	2	10,53

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

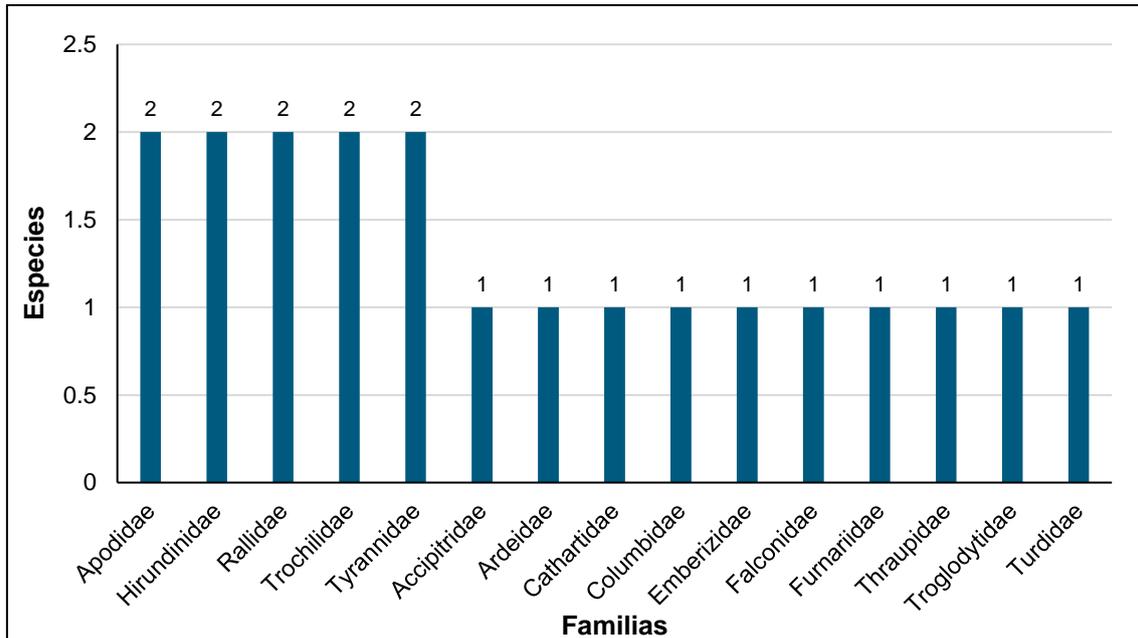


Figura 8.65. Familias con la mayor riqueza de especies registradas en el área de influencia del proyecto Laguna Azul

Adicionalmente a los datos obtenidos mediante las búsquedas intensivas, se registró un individuo de la especie *Xenospingus concolor* «fringilo apizarrado» mediante el método de redes niebla.

b. Curva de acumulación de especies

Se calculó la curva de acumulación de especies de aves ajustadas al modelo exponencial negativo para los datos obtenidos de la evaluación en el área de estudio, para ello se utilizaron los programas: Estimates (Colwell, 2013), con el cual se obtuvieron los valores requeridos para poder realizar la curva de acumulación, la misma que se ajustó al modelo exponencial negativo, utilizando el software estadístico Statistica 7.0. Para la realización de la curva de acumulación se utilizó los datos obtenidos donde se registraron 20 especies.

El total de especies de aves registradas en el área de estudio (20 especies) representó el 91,21 % del total esperado (22 especies) calculado para el modelo exponencial negativo, que indica que a partir de proporciones superiores al 70 %, la estimación de la riqueza asintótica se hace estable (Jiménez-Valverde y Hortal, 2003). Este porcentaje indicó que el esfuerzo de muestreo fue el adecuado y que el inventario de especies de aves obtenido es bastante completa y altamente confiable. Probablemente, las especies que no fueron registradas corresponderían a especies nocturnas o crepusculares, ocasionales, con migración altitudinal o especies estacionales.

Observando la curva de acumulación de especies de la EAT presente, se observa que el tamaño de la muestra de especies no llega a la asíntota, esto se debe a que para la zona se registró un total de 20 especies; mientras que, según los datos ajustados mediante la ecuación de Clench, indica que el máximo número de especies para el muestreo fue de 30 especies. Probablemente, las especies que no fueron registradas corresponderían a especies nocturnas o crepusculares, ocasionales, con migración altitudinal o especies estacionales.

El coeficiente de determinación R^2 tuvo un valor de 0,99 que representa un ajuste aceptable al modelo de Clench (cercano a uno). Manifestando que, la avifauna presente es muy rica

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

en especies y que, si el esfuerzo fuera mayor, matemáticamente sería posible encontrar especies raras (baja abundancia y poca ocurrencia) e incrementar la riqueza (Figura 8.66).

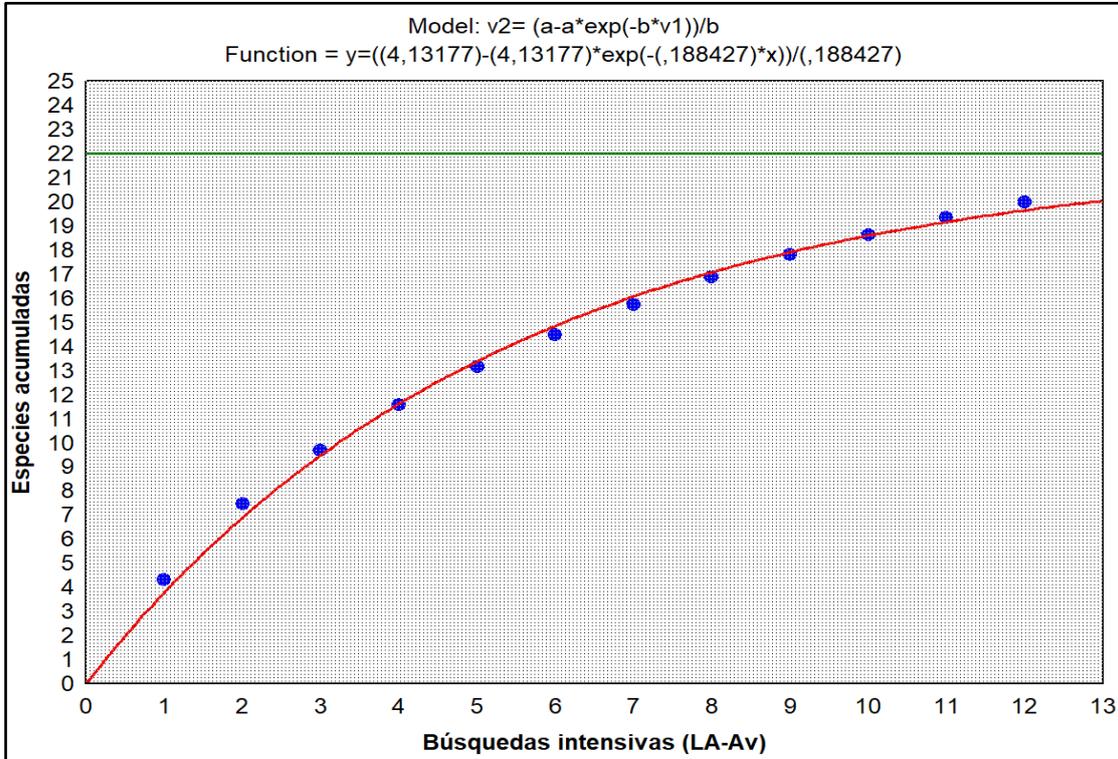


Figura 8.66. Curva de acumulación de especies presentes en el área de influencia del proyecto Laguna Azul

c. Composición y abundancia de especies por zonas de evaluación

En esta sección se presenta y analiza los resultados sobre la riqueza y abundancia de especies, diversidad y similitud por zona de evaluación determinada en el área de influencia del proyecto central hidroeléctrica Laguna Azul.

Zona-1

Esta zona se encuentra representada por las formaciones vegetales monte ribereño y matorral desértico, los cuales fueron evaluados mediante la aplicación de 7 búsquedas intensivas.

En esta zona de evaluación se registraron un total 171 individuos pertenecientes a 15 especies, 11 familias y 5 órdenes taxonómicos. El orden con mayor representatividad fue Passeriformes con 6 familias y 7 especies registradas que representaron el 46,67 % del total de especies; seguido del orden Apodiformes con 2 familias y 4 especies registradas, que representaron el 13,33 % del total de especies; el orden Gruiformes registró 1 familia y 2 especies representando el 13,33 % del total de especies. Los órdenes restantes (Falconiformes y Pelecaniformes) registraron una sola familia y una especie cada uno, que representaron el 13,33 % del total de especies.

Analizando la información por familia taxonómica, se tiene que las familias con mayor representatividad fueron Apodidae (golondrinas), Trochilidae (colibríes), Tyrannidae (mosqueros) y Rallidae (pollas de agua), todas con 2 especies que representaron el 13,33 %. Las familias restantes registraron solo 1 especie, que representó el 6,67 %.



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

La especie con la mayor abundancia registrada fue *Aeronautes andecolus* «vencejo andino» con 90 individuos registrados que representaron el 52,63 %, seguido de la especie *Streptoprocne zonaris* «vencejo de collar blanco» con 25 individuos que representaron el 14,62 %. Las especies *Pygochelidon cyanoleuca* «golondrina azul y blanca» es la tercera especie con mayor representatividad, con 12 individuos registrados que representaron el 7,02 %, seguido de las especies *Patagona gigas* «colibrí gigante» y *Xenospingus concolor* «fringilo apizarrado» con 9 individuos que representaron el 5,26 %, seguido de la especie *Camptostoma obsoletum* «mosquerito silbador» con 4 individuos que representaron el 2,34 %. En la Tabla 8.24 se detalla la información en mención.

Tabla 8.24. Riqueza y abundancia de especies registradas en la zona-1

Nº	Orden	Familia	Especie	Zona-1	
				Ab. Total	AR (%)
1	Pelecaniformes	Ardeidae	<i>Nycticorax nycticorax</i>	1	0,585
2	Gruiformes	Rallidae	<i>Gallinula galeata</i>	1	0,585
3			<i>Fulica ardesiaca</i>	2	1,170
4	Apodiformes	Apodidae	<i>Streptoprocne zonaris</i>	25	14,620
5			<i>Aeronautes andecolus</i>	90	52,632
6		Trochilidae	<i>Patagona gigas</i>	9	5,263
7			<i>Rhodopis vesper</i>	1	0,585
8	Falconiformes	Falconidae	<i>Falco sparverius</i>	2	1,170
9	Passeriformes	Furnariidae	<i>Pseudasthenes cactorum</i>	2	1,170
10		Tyrannidae	<i>Elaenia albiceps</i>	3	1,754
11			<i>Camptostoma obsoletum</i>	4	2,339
12			Hirundinidae	<i>Pygochelidon cyanoleuca</i>	12
13		Turdidae	<i>Turdus chiguanco</i>	3	1,754
14		Thraupidae	<i>Xenospingus concolor</i>	9	5,263
15		Emberizidae	<i>Zonotrichia capensis</i>	7	4,094

Formación vegetal Matorral desértico en la zona-1:

Se registraron 32 individuos pertenecientes a 6 especies, 6 familias y 2 órdenes taxonómicos. El orden con mayor representatividad fue Passeriformes con 5 especies que representaron el 83,33 %, mientras que el orden Apodiformes con 1 especie registrada, representó el 16,67 %. Para el caso de las familias, tenemos que todas ellas registraron una sola especie, este valor representó el 16,67 % cada una.

La especie con la mayor abundancia registrada fue *Aeronautes andecolus* «vencejo andino» con 19 individuos registrados, que representaron el 59,375 %, seguido de la especie *Zonotrichia capensis* «gorrión de collar rufo» con 4 individuos que representaron el 12,5 %, seguido de las especies *Pygochelidon cyanoleuca* «golondrina azul y blanca» y *Xenospingus concolor* «fringilo apizarrado» con 3 individuos que representaron el 9,375 %. La siguiente especie con mayor representatividad fue *Pseudasthenes cactorum* «canastero de los cactus» con 2 individuos que representaron el 6,25 %, mientras que la especie *Turdus chiguanco* «zorzal chiguanco» fue la especie con la menor abundancia registrada, con un solo individuo que representó el 3,125 %.

Tabla 8.25. Riqueza y abundancia de especies registradas en la formación matorral desértico de la zona-1

Nº	Orden	Familia	Especie	Matorral desértico	
				Ab. Total	AR (%)
1	Apodiformes	Apodidae	<i>Aeronautes andecolus</i>	19	59,375
2	Passeriformes	Furnariidae	<i>Pseudasthenes cactorum</i>	2	6,250
3		Hirundinidae	<i>Pygochelidon cyanoleuca</i>	3	9,375
4		Turdidae	<i>Turdus chiguanco</i>	1	3,125



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

Nº	Orden	Familia	Especie	Matorral desértico	
				Ab. Total	AR (%)
5		Thraupidae	<i>Xenospingus concolor</i>	3	9,375
6		Emberizidae	<i>Zonotrichia capensis</i>	4	12,500

Formación vegetal monte ribereño en la zona-1:

Se registraron 139 individuos, pertenecientes a 14 especies, 10 familias y 5 órdenes. El orden con mayor representatividad fue Passeriformes con 6 especies que representaron el 42,86 %, seguido del orden Apodiformes con 4 especies registradas, que representaron el 28,57 %, seguido del orden Gruiformes, con 2 especies que representaron el 14,29 %.

Analizando los datos por familia taxonómica, tenemos que las familias con mayor representatividad fueron Apodidae (vencejos), Rallidae (pollas de agua) y Trochilidae (colibríes) todas con 2 especies registradas, representando cada una el 14,29 %, mientras que, las demás familias solo registraron un solo individuo, que representó el 7,14 %.

La especie con mayor abundancia registrada en el monte ribereño fue *Aeronautes andecolus* «vencejo andino» con 71 individuos que representaron el 51,079 %, seguido de la especie *Streptoprocne zonaris* «vencejo de collar blanco» con 25 individuos que representaron el 17,986 %, seguido de las especies *Patagona gigas* «colibrí gigante» y *Pygochelidon cyanoleuca* «golondrina azul y blanca» ambas con 9 individuos que representaron el 6,475 %, en cambio, las especies con menor abundancia fueron *Nycticorax nycticorax* «huaco común», *Gallinula galeata* «polla de agua común» y *Rhodopis vesper* «colibrí de Oasis», todos ellos con un solo individuo registrado, que representó el 0,719 %. En la Tabla 8.26 se detalla la información en mención.

Tabla 8.26. Riqueza y abundancia de especies registradas en la formación monte ribereño de la zona-1

Nº	Orden	Familia	Especie	Monte ribereño	
				Ab. Total	AR (%)
1	Pelecaniformes	Ardeidae	<i>Nycticorax nycticorax</i>	1	0,719
2	Gruiformes	Rallidae	<i>Gallinula galeata</i>	1	0,719
3			<i>Fulica ardesiaca</i>	2	1,439
4	Apodiformes	Apodidae	<i>Streptoprocne zonaris</i>	25	17,986
5			<i>Aeronautes andecolus</i>	71	51,079
6		Trochilidae	<i>Patagona gigas</i>	9	6,475
7			<i>Rhodopis vesper</i>	1	0,719
8	Falconiformes	Falconidae	<i>Falco sparverius</i>	2	1,439
9	Passeriformes	Tyrannidae	<i>Elaenia albiceps</i>	3	2,158
10			<i>Camptostoma obsoletum</i>	4	2,878
11		Hirundinidae	<i>Pygochelidon cyanoleuca</i>	9	6,475
12		Turdidae	<i>Turdus chiguanco</i>	2	1,439
13		Thraupidae	<i>Xenospingus concolor</i>	6	4,317
14		Emberizidae	<i>Zonotrichia capensis</i>	3	2,158

Zona-2

Esta zona se encuentra representada por las formaciones vegetales monte ribereño y matorral desértico, las cuales fueron evaluados mediante la aplicación de 3 búsquedas intensivas.

En esta zona de evaluación se han registrado un total 29 individuos pertenecientes a 10 especies, 10 familias y 4 órdenes taxonómicos. El orden con mayor representatividad fue Passeriformes con 7 familias y 7 especies registradas que representaron el 70 %, seguido



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

de los órdenes Apodiformes, Cathartiformes, Columbiformes, todas con una sola familia y una especie, que representaron el 10 % cada una.

Analizando los datos por familia taxonómicas, se tiene que todas las familias registradas registraron una sola especie que representó el 10 %.

La especie con la mayor abundancia registrada fue *Aeronautes andecolus* «vencejo andino» con 6 individuos registrados que representaron el 20,69 %, seguido de la especie *Zenaida auriculata* «tortola orejuda» con 5 individuos que representaron el 17,24 %. La especie *Xenospingus concolor* «fringilo apizarrado» fue la tercera con mayor representatividad, con 4 individuos que representaron el 13,79 %, seguido de las especies *Pygochelidon cyanoleuca* «golondrina azul y blanca» y *Vultur gryphus* «cóndor andino» ambas con 3 individuos que representaron el 10,34 %. En la Tabla 8.27 se detalla la información en mención.

Tabla 8.27. Riqueza y abundancia de especies registradas en la zona-2

Nº	Orden	Familia	Especie	Zona-2	
				Ab. Total	AR (%)
1	Cathartiformes	Cathartidae	<i>Vultur gryphus</i>	3	10,34
2	Columbiformes	Columbidae	<i>Zenaida auriculata</i>	5	17,24
3	Apodiformes	Apodidae	<i>Aeronautes andecolus</i>	6	20,69
4	Passeriformes	Furnariidae	<i>Pseudasthenes cactorum (E)</i>	2	6,897
5	Passeriformes	Tyrannidae	<i>Camptostoma obsoletum</i>	1	3,448
6	Passeriformes	Hirundinidae	<i>Pygochelidon cyanoleuca</i>	3	10,34
7	Passeriformes	Troglodytidae	<i>Troglodytes aedon</i>	1	3,448
8	Passeriformes	Turdidae	<i>Turdus chiguanco</i>	1	3,448
9	Passeriformes	Thraupidae	<i>Xenospingus concolor</i>	4	13,79
10	Passeriformes	Emberizidae	<i>Zonotrichia capensis</i>	3	10,34

Formación vegetal matorral desértico en la zona-2:

Se registraron 12 individuos pertenecientes a 4 especies, 4 familias y 3 órdenes taxonómicos. El orden Passeriformes fue el más representativo con 2 especies registradas que representaron el 50 %, seguido de los órdenes Apodiformes y Columbiformes, ambas con una sola especie, que representó el 25 % cada uno.

En esta formación se registraron 4 familias taxonómicas, Apodidae (vencejos), Columbidae (palomas), Furnariidae (canasteros) e Hirundinidae (golondrinas), todas ellas registraron una sola especie que representó el 25 %.

La especie con la mayor abundancia registrada fue *Zenaida auriculata* «tortola orejuda» con 4 individuos registrados que representaron el 33,33 %, seguido de las especies *Aeronautes andecolus* «vencejo andino» y *Pygochelidon cyanoleuca* «golondrina azul y blanca» ambas con 3 individuos registrados que representaron el 25 %, seguido de la especie *Pseudasthenes cactorum* «canastero de los cactus» con 3 individuos que representaron el 16,67 %.

Tabla 8.28. Riqueza y abundancia de especies registradas en la formación matorral desértico de la zona-2

Nº	Orden	Familia	Especie	Matorral desértico	
				Ab. Total	AR (%)
1	Apodiformes	Apodidae	<i>Aeronautes andecolus</i>	3	25,00
2	Columbiformes	Columbidae	<i>Zenaida auriculata</i>	4	33,33
3	Passeriformes	Furnariidae	<i>Pseudasthenes cactorum</i>	2	16,67
4	Passeriformes	Hirundinidae	<i>Pygochelidon cyanoleuca</i>	3	25,00

**Formación vegetal matorral ribereño en la zona-2:**

Se registraron 17 individuos pertenecientes a 8 especies, 8 familias y 4 órdenes taxonómicos. El orden Passeriformes fue el más representativo con 5 especies que representaron el 62,5 %, seguido de los órdenes Apodiformes, Cathartiformes y Passeriformes, todos con una especie que representó el 12,5 %.

Con respecto al análisis por familia taxonómica, tenemos que se registraron 8 familias, todas ellas registraron un solo individuo que representó el 12,5 % cada una. La especie con mayor abundancia registrada fue *Xenospingus concolor* «fringilo apizarrado», con 4 individuos registrados que representaron el 23,53 %, seguido de las especies *Aeronautes andecolus* «vencejo andino», *Vultur gryphus* «cóndor andino» y *Zonotrichia capensis* «gorrión de collar rufo» todas con 3 individuos que representaron el 17,65 %. Las demás especies sólo registraron un solo individuo, representando el 5,88 % cada una.

Tabla 8.29. Riqueza y abundancia de especies registradas en la formación monte ribereño de la zona-2

Orden	Familia	Especie	Monte ribereño	
			Ab. Total	AR (%)
Apodiformes	Apodidae	<i>Aeronautes andecolus</i>	3	17,65
Cathartiformes	Cathartidae	<i>Vultur gryphus</i>	3	17,65
Columbiformes	Columbidae	<i>Zenaida auriculata</i>	1	5,88
Passeriformes	Emberizidae	<i>Zonotrichia capensis</i>	3	17,65
Passeriformes	Thraupidae	<i>Xenospingus concolor</i>	4	23,53
Passeriformes	Troglodytidae	<i>Troglodytes aedon</i>	1	5,88
Passeriformes	Turdidae	<i>Turdus chiguanco</i>	1	5,88
Passeriformes	Tyrannidae	<i>Camptostoma obsoletum</i>	1	5,88

Zona-3

Esta zona de evaluación corresponde a la zona de confluencia del río Mamacocha y el río Colca. La formación vegetal presente en esta zona fue Monte ribereño, la cual fue evaluada mediante la aplicación de 2 búsquedas intensivas.

En esta zona de evaluación se ha registrado un total de 6 individuos, pertenecientes a 3 especies, 3 familias y 3 órdenes taxonómicos. Los órdenes reportados en esta zona de evaluación fueron Passeriformes, Accipitriformes y Cathartiformes, todos con una sola especie registrada. Las familias registradas en esta zona fueron Cathartidae (gallinazos), Accipitridae (aguiluchos) e Hirundinidae (golondrinas), todas con una sola especie registrada (Tabla 8.30).

Tabla 8.30. Riqueza y abundancia de especies registradas en la formación monte ribereño de la zona-3

Nº	Orden	Familia	Especie	Monte ribereño	
				Ab. Total	AR (%)
1	Cathartiformes	Cathartidae	<i>Vultur gryphus</i>	1	16,67
2	Accipitriformes	Accipitridae	<i>Geranoaetus melanoleucus</i>	1	16,67
3	Passeriformes	Hirundinidae	<i>Orochelidon andecola</i>	4	66,67

d. Diversidad

Analizando los datos obtenidos mediante las búsquedas intensivas realizadas en el área de evaluación se tiene que la zona con los valores más altos de riqueza y abundancia de especies fue la zona-1 con 15 especies y 171 individuos, con estos datos se obtuvo un valor de 2,48 bits/ind para el índice de Shannon Wiener, un valor de 0,64 para el índice de equidad de Pielou y un valor de 0,69 probits/ind para el índice de Simpson. Estos valores nos indican

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

la zona-1 presenta una diversidad importante y que las especies estuvieron representadas equitativamente en la muestra, es decir, no hubo dominancia de especies (Figura 8.67).

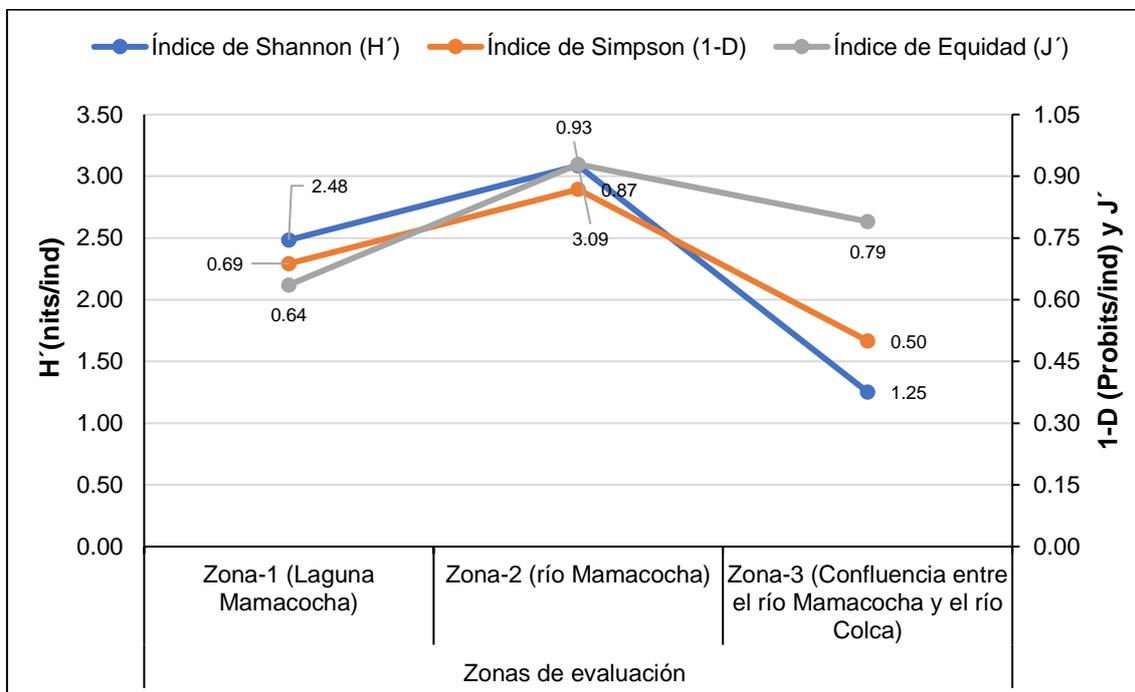


Figura 8.67. Índices de diversidad por zonas evaluadas

La zona-2 fue la zona con los valores más altos de los índices de diversidad. En esta zona se registraron 29 individuos pertenecientes a 10 especies, con estos valores se obtuvo un valor de 3,09 bits/ind para el índice de Shannon Wiener, un valor de 0,87 probits/ind para el índice de Simpson y un valor de 0,93 para el índice de equidad de Pielou. Estos valores nos indican que la zona-2, presentó una alta diversidad, donde las especies estuvieron representadas equitativamente en la muestra, es decir, no hubo dominancia de especies a pesar de no registrar la mayor riqueza o abundancia, esta mixtura de formaciones ha generado un equilibrio en las especies, convirtiendo a esta zona en un área de importancia para la conservación de aves (Tabla 8.31).

Tabla 8.31. Riqueza, abundancia e índices de diversidad por zonas en el área de estudio

Parámetros	Zonas de evaluación		
	Zona-1	Zona-2	Zona-3
Riqueza (Número total de especies)	15	10	3
Abundancia (Total de Individuos)	171	29	6
Índice de Shannon (H')	2,48	3,09	1,25
Índice de Simpson (1-D)	0,69	0,87	0,50
Índice de Equidad (J')	0,64	0,93	0,79
Esfuerzo de muestreo	7 BI/3 RN	3 BI	2 BI

La zona-3 fue la zona que presentó los menores valores de riqueza y abundancia, con 6 individuos y 3 especies registradas, con estos valores se obtuvo un valor de 1,25 bits/ind para el índice de Shannon Wiener y un valor de 0,79 para el índice de Equidad de Pielou, estos valores nos indican que hubo una baja diversidad pero las especies estuvieron distribuidas de manera equitativa, sin embargo, el valor de 0,50 probits/ind para el índice de Simpson, nos indica que hubo dominancia de especies, estos quizás se deba a la abundancia de la especie *Orochelidon andecola*, la cual comprende más de la mitad de la abundancia presente en la zona, lo cual



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

estaría influenciando en el valor obtenido, no obstante en la naturaleza, la presencia de una golondrina no impide o influencia de la presencia de un cóndor o de un aguilucho.

e. Similitud

Analizando el dendrograma obtenido mediante el índice de Morisita, vemos que se ha formado un agrupamiento conformado por la zona-1 y la zona-2, presentando un valor de dicho índice de 0,58; esto nos indicó que ambas microcuencas comparten más del 58 % de las especies registradas, como por ejemplo *Aeronautes andecolus*, *Pseudasthenes cactorum*, *Camptostoma obsoletum*, *Pygochelidon cyanoleuca*, *Xenospingus concolor*, entre otras. Esta similitud está relacionada a la presencia y cercanía de los 2 tipos de formaciones vegetales, matorral desértico y monte ribereño, lo cual permite que muchas de las especies indicadas puedan desplazarse por ambas zonas en busca de alimento, en búsqueda de refugio ante algún peligro (depredador u otra amenaza) o simplemente por movimientos de su ciclo natural, logrando de esta manera hacer un uso tanto del ambiente como de los recursos presentes (Figura 8.68).

Unido a este grupo, se encuentra la zona-3 este grupo presenta una similitud del 0,05 %, es decir, solo comparten el 5 % de las especies, esto quizás se deba a la diferencia en las formaciones y en el mismo ecosistema, el cual corresponde a una zona de acantilado cercano a una quebrada con formaciones montañosas muy cerradas, de difícil acceso y de poca vegetación, lo cual no permite el libre desplazamiento de las aves, y por ende el intercambio y uso de hábitat de las especies (Tabla 8.32 y Figura 8.68).

Tabla 8.32. Valores de índice de similitud de Morisita entre las zonas evaluadas en el área de estudio

Zonas de evaluación	Zona-1	Zona-2	Zona-3
Zona 1	1	0,58	0
Zona 2	0,58	1	0,05
Zona 3	0	0,05	1

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

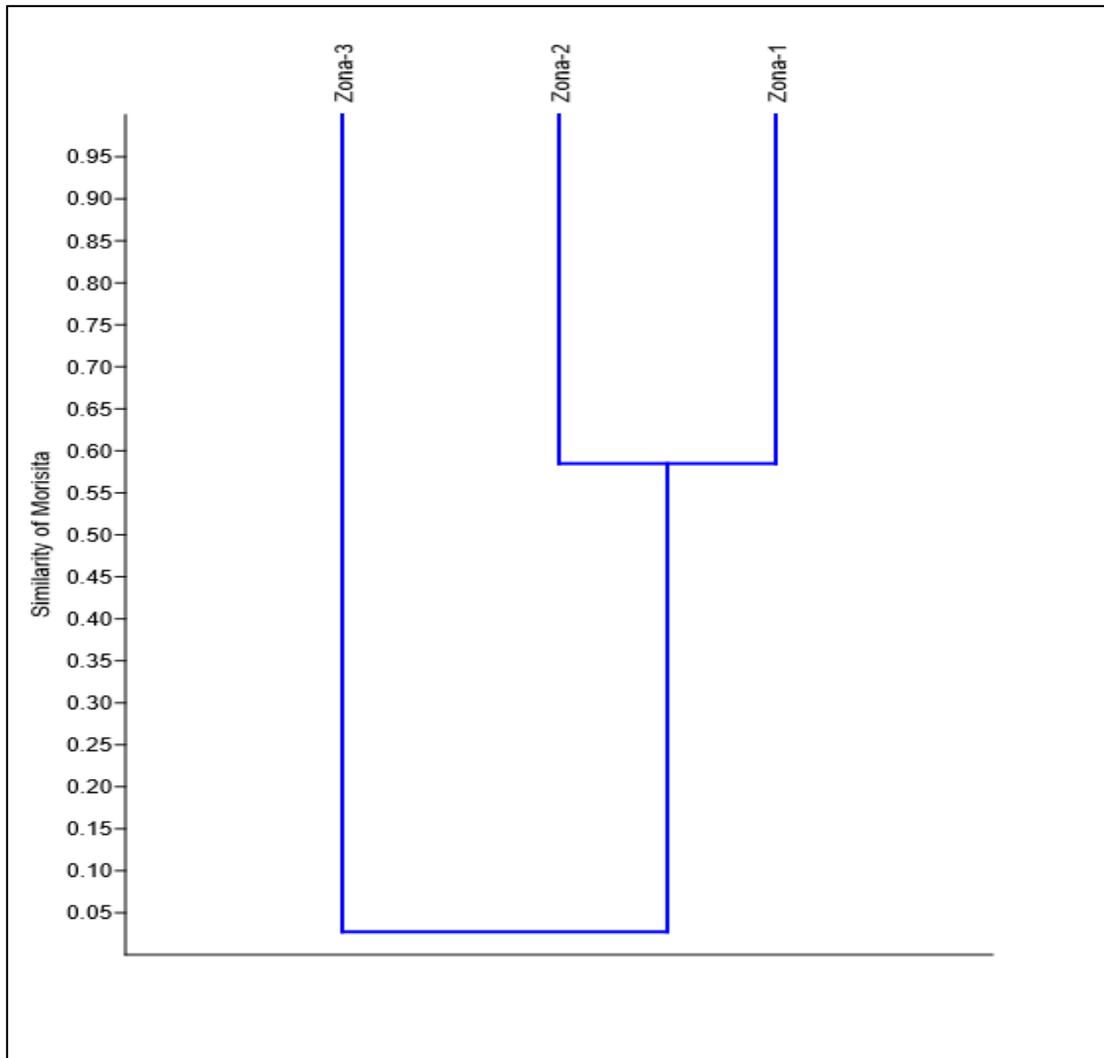


Figura 8.68. Dendrograma de similitud de Morisita entre las zonas evaluadas

f. Análisis NMDS

Para determinar la diferencia en la composición de especies de aves, ponderados por la abundancia, en cada uno de los hábitats evaluados, se realizó un análisis de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS). Este análisis se realizó en base a la distancia de Bray Curtis con 1000 permutaciones en el paquete Vegan para R (Oksanen *et al.*, 2017) y se realizó el gráfico con el programa Past.

En la Figura 8.68 podemos ver que se no se forman grupos bien diferenciados según el análisis de PERMANOVA ($p=0,01$).

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

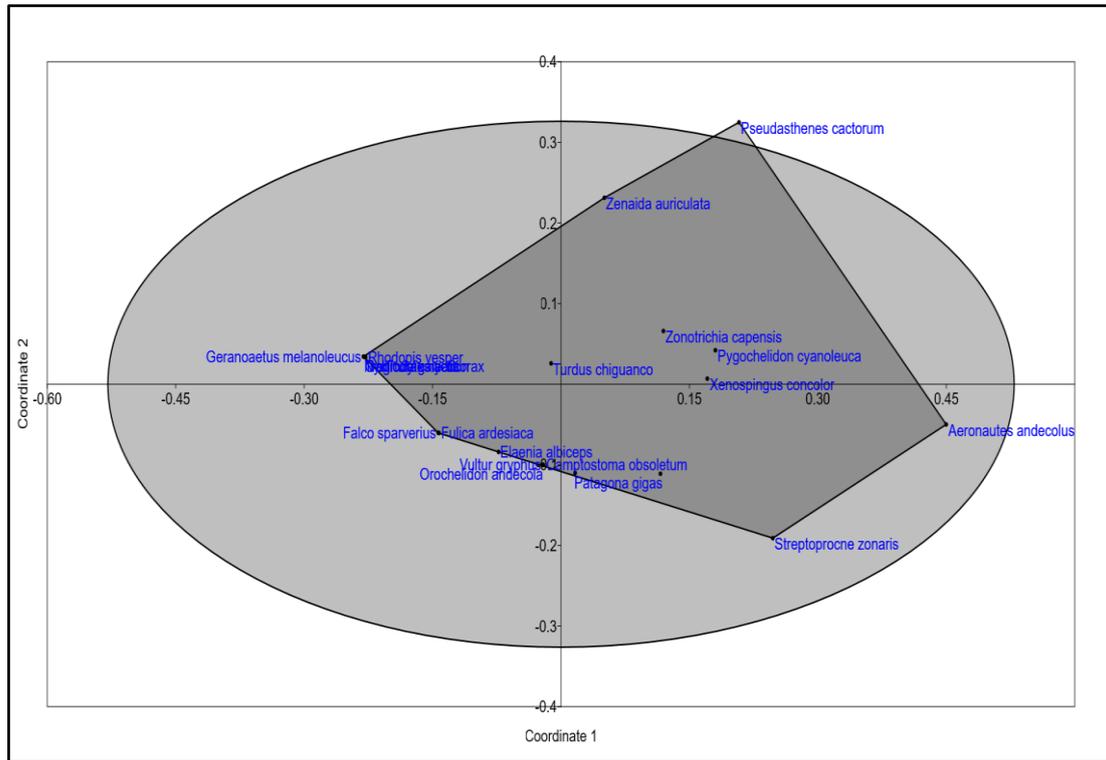


Figura 8.69. Análisis de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS)

En la Figura 8.69 podemos observar 2 grupos, el primero conformado por la circunferencia corresponde a las especies registradas en la formación vegetal monte ribereño, mientras que los datos que conforman la Figura con vértices corresponden a las especies del matorral desértico. Podemos observar en la Figura 8.69 que el 85,71 % de las especies del matorral desértico están presentes en el monte ribereño, esto se debe a que el monte ribereño es una formación conforma por especies arbóreas y arbustivas que brindan refugio, zonas de reproducción, pero sobre todo brinda una gran cantidad de alimento (insectos) para las especies de aves debido a ello, es que podemos observar esta similaridad en la composición de especies.

Es importante mencionar que la especie *Pseudasthenes cactorum* «canastero de los cactus», es la única especie propia del matorral desértico, esto se debe principalmente a los requerimientos de hábitat de la especie, la cual busca las zonas de cactus en el matorral desértico para refugiarse y reproducirse, se alimenta de los insectos presentes en las laderas áridas, los cactus columnares y roquedales, por ello es que solo se puede registrar en el matorral desértico.

A pesar de que las formaciones vegetales presentaron pequeñas diferencias, se realizó un análisis SIMPER, la cual es una prueba que evalúa la contribución en porcentaje de cada especie en relación a las medidas de similaridad; cuyo objetivo es ver que especies pueden verse afectadas ante una eventualidad (contaminación, pérdida de vegetación, etc.), según esta prueba vemos que las especies *Aeronautes andecolus*, *Pygochelidon cyanoleuca*, *Streptoprocne zonaris*, *Pseudasthenes cactorum*, *Zonotrichia capensis*, *Xenospingus concolor*, *Zenaida auriculata*, *Orochelidon andecola*, *Patagona gigas* y *Vultur gryphus*, entre otras, son especies que en conjunto presentan un valor de participación por encima del 75% en las muestras, correspondiendo a especies comunes o de mayor frecuencia de registro. Estos valores pueden verse reflejados en la Figura 8. 70.

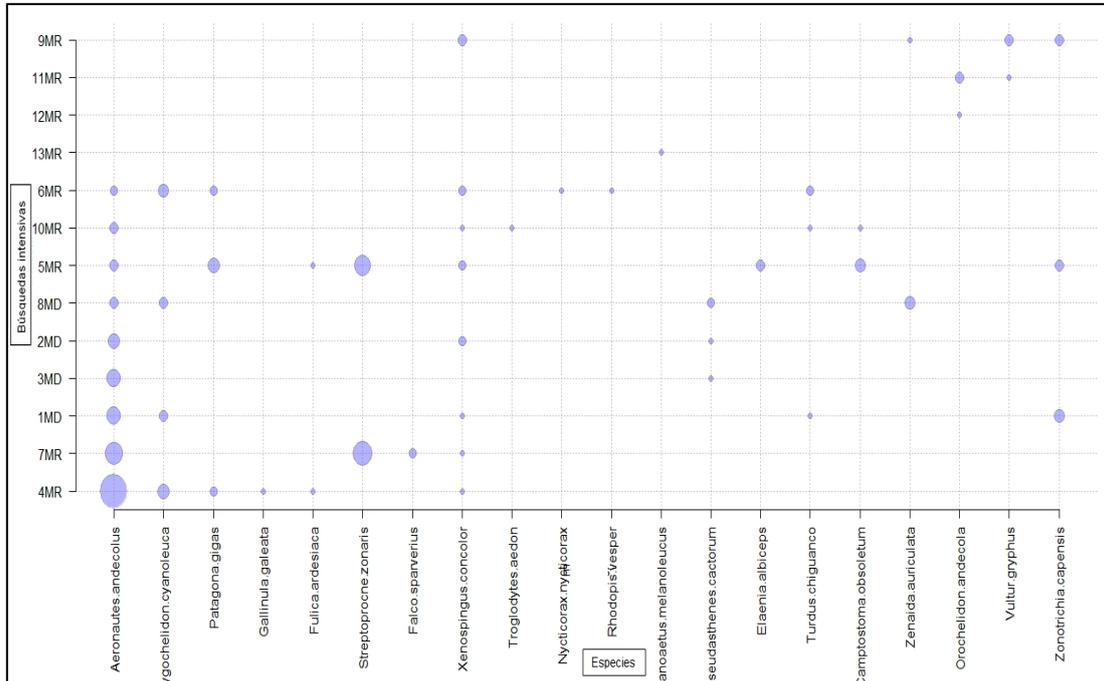
Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

Figura 8.70. Análisis de abundancias por búsqueda intensiva

g. Especies incluidas en categorías de conservación, endémicas o migratorias registradas en el área de estudio

En el área de estudio se registraron 20 especies, de estas, solo 7 especies se encontraron incluidas en alguna categoría de conservación y nivel de endemismo (Tabla 8.33). Estas especies representan el 35 % de la riqueza total.

Según la legislación nacional (Decreto Supremo N.º 004-2014-MINAGRI) se registraron 2 especies, una de ellas categorizada como especie Vulnerable (VU) se trata del «fringilo apizarrado» *Xenospingus concolor*, y la otra especie registrada está categorizada como especie En Peligro (EN) esta especie es el «cóndor andino» *Vultur gryphus*. Estas mismas especies según la IUCN se encuentran categorizadas como especies Vulnerables.

Según la CITES (2017) se registró 4 especies incluidas en el apéndice II, que contempla a las especies que no están necesariamente amenazadas de extinción, pero que podrían llegar a estarlo a menos que se controle estrictamente su comercio. Estas especies pertenecen a las familias taxonómicas Cathartidae (gallinazos), como *Vultur gryphus* «cóndor andino», Accipitridae (Aguilucho) como *Geranoaetus melanoleucus* «aguilucho de pecho negro», Falconidae (halcones) como *Falco sparverius* «cernícalo americano», Trochilidae (picaflores) como el *Rhodopis vesper* «colibrí de los cactus» y *Patagona gigas* «colibrí gigante»; además se ha logrado registrar a una especie incluida dentro del apéndice I, que contempla a las especies de animales y plantas con mayor peligro de extinción, esta especie fue *Vultur gryphus* «cóndor andino» (Tabla 8.33).



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

Tabla 8.33. Lista de especies incluidas en categorías de conservación y endémicas registradas

Especies	Categorías de Conservación				Endemismo		
	D.S. N.º 004-2014-MINAGRI	IUCN	CITES	CMS	Perú	EBA	Bioma
<i>Vultur gryphus</i>	EN	NT	I	II	-	-	-
<i>Geranoaetus melanoleucus</i>	-	LC	II	-	-	-	CAN
<i>Patagona gigas</i>	-	LC	II	-	-	-	-
<i>Rhodopis vesper</i>	-	LC	II	-	-	-	-
<i>Falco sparverius</i>	-	LC	II	-	-	-	-
<i>Pseudasthenes cactorum</i>	-	LC	-	-	x	52	-
<i>Xenospingus concolor</i>	VU	NT	-	-	-	52	-

X: endémico de Perú, VU: Vulnerable, NT: Casi Amenazado, LC: Preocupación menor, II: Apéndice II de la CITES y CMS, EBA: CAN: Bioma andes centrales.

Finalmente, respecto al nivel de endemismo, solo se registró una especie endémica de Perú, se trata del «canastero de los cactus» *Pseudasthenes cactorum*; además se logró registrar a 2 especies dentro del EBA 052 (Peru-Chile Pacific slope), se trata de *Xenospingus concolor* y de *Pseudasthenes cactorum*. A su vez también se ha logrado registrar a 1 especie dentro del bioma CAN (por sus siglas en inglés, Central Andes) (Tabla 8.33).

h. Usos actuales y potenciales de las aves por la población local

Durante la evaluación realizada en el área de estudio, los apoyos locales mencionaron que la población local hace uso de las aves en el uso ornamental; luego de entrevistarlos se llegó a la conclusión que solo 2 especies del total registrado entre ellas el colibrí por ser una especie vistosa y con plumaje llamativo. Las especies se detallan la Tabla 8.34

Tabla 8.34. Uso de las aves por la población local

Especie	Nombre Local	Usos	
		Alimento	Ornamental
<i>Patagona gigas</i>	Colibrí gigante		x
<i>Rhodopis vesper</i>	Colibrí de los cactus		x

8.3.5.3 Mamíferos

En toda el área de estudio, conformada desde la laguna Mamacocha hasta la confluencia entre el río Mamacocha y el río Colca, se registraron 5 especies de mamíferos silvestres divididas en 3 órdenes, 5 familias y 5 géneros, siendo la orden carnívora el de mayor registro con 3 especies (Tabla 8.35).

Tabla 8.35. Composición de mamíferos silvestres en el área de estudio

Orden	Familia	Género	Especie
Rodentia	1	1	1
Lagomorpha	1	1	1
Carnivora	3	3	3
Total	5	5	5

En las evaluaciones mediante recorridos por transectos, los mayores registros obtenidos fueron de la especie *Lycalopex culpaeus* «zorro» con 8 registros, entre observaciones por medio de heces (6 registros) y huellas (2 registros) respectivamente, seguido de la especie *Lontra felina* «nutria o huallaque» del orden Carnívora con 2 registros por observación directa y 1 registro por olor.

**a. Descripción de mamíferos silvestres por zonas**

En esta sección se presenta y analiza los resultados de riqueza, abundancia, diversidad y similitud de especies de mamíferos silvestres por zonas en el área de estudio.

Riqueza y abundancia de mamíferos silvestres por zona

Para un mejor tratamiento y análisis de resultados se determinaron 3 zonas de evaluación o estudio. En la zona-1 la evaluación se enfocó en los alrededores de la Laguna Mamacocha el cual es considerada un ecosistema frágil (EF1)³⁷, por lo que el esfuerzo de muestreo varió para esta zona.

En la zona-1 se realizó 2 transectos de una distancia aproximada de 1 km cada uno respectivamente en un tiempo de 3 horas y 50 minutos. Caso contrario, en las zonas 2 y 3 donde se realizó 1 transecto por cada uno (Tabla 8.36).

Tabla 8.36. Unidades y esfuerzo de muestreo por zona en el área de estudio.

Zona	Código Transecto	Esfuerzo		Total km	Total Horas
		km	Horas		
Zona-1 EF1 (Laguna Mamacocha)	LA-Ma1	1,00	2 h 00'	2,00	3 h 50'
	LA-Ma2	1,00	1 h 50'		
Zona-2	LA-Ma3	2,30	3 h 45'	2,30	3 h 45'
Zona-3	LA-Ma4	1,00	2 h 21'	1,00	2 h 21'
Total				5,30	9 h 56'

El esfuerzo de muestreo total con cámaras trampa fue de 379 trampas-noche. Distribuidas para la zona-1 con un esfuerzo de 154 trampas-noche, para la zona-2 con un esfuerzo de 114 trampas-noche y para la zona-3 con un esfuerzo de 111 trampas-noche (Tabla 8.37).

Tabla 8.37. Esfuerzo de muestreo de cámaras trampa para la evaluación de mamíferos silvestres en el área de estudio

Código	Fecha de instalación	Fecha de desinstalación	Tiempo de registro (días)	Esfuerzo (trampas- noche)
Zona-1, EF1 (Laguna Mamacocha)				
LA-CT-1	3/05/2019	11/06/2018	39	154
LA-CT-2	3/05/2019	11/06/2018	39	
LA-CT-3	3/05/2019	11/06/2018	39	
LA-CT-4	5/05/2019	11/06/2018	37	
Zona-2				
LA-CT-5	5/05/2019	12/06/2018	38	114
LA-CT-6	5/05/2019	12/06/2018	38	
LA-CT-7	5/05/2019	12/06/2018	38	
Zona-3				
LA-CT-8	6/05/2019	12/06/2018	37	111
LA-CT-9	6/05/2019	13/06/2018	38	
LA-CT-10	6/05/2019	11/06/2018	36	
Total				379

³⁷ Ley General del Ambiente N.º 28611. Según el numeral 99.2 del Artículo 99°. De los Ecosistemas frágiles, «los ecosistemas frágiles comprenden, entre otros, desiertos, tierras semiáridas, montañas, pantanos, bofedales, bahías, islas pequeñas, humedales, lagunas altoandinas, lomas costeras, bosques de neblina y bosques relictos».

Índice de ocurrencia (IO) e índice de abundancia (IA)

Para el cálculo del índice de ocurrencia se tomaron en cuenta todos los registros y evidencias encontradas (cualitativas y cuantitativas) por medio de recorridos en el área de estudio. No se consideraron las observaciones y evidencias obtenidas fuera de los recorridos por transectos ni los registros obtenidos por cámaras trampa. Los valores de índice de ocurrencia (IO) e índice de abundancia (IA) por especie se muestran en la Tabla 8.38.

A nivel del análisis del registro de evidencias y considerando los índices de ocurrencia (IO), se confirman la presencia la especie *Lontra felina* «nutria o huallaque» el cual sobrepasa el valor mínimo requerido de 10, según lo manifestado en Boddicker *et al.* (2002), confirmando de esta manera la presencia de esta por las observaciones directas obtenidas.

En lo que respecta al análisis del índice de abundancia (IA), *Lycalopex culpaeus*, «zorro» se reporta como las más abundante en registros por medio de huellas con un valor de 34.

Tabla 8.38. Índice de ocurrencia (IO) e índice de abundancia de mamíferos en el área de estudio

Orden	Familia	Especies	Nombre común	Zona-1 EF1 (Laguna Mamacocha)		Zona-2	Zona-3	IO	IA
				LA-Ma1	LA-Ma2	LA-Ma3	LA-Ma4		
Carnivora	Canidae	<i>Lycalopex culpaeus</i>	Zorro	He (2)	He (1)	He (3)	Hu (2)	9	34
	Mustelidae	<i>Lontra felina</i>	Nutria, Huallaque	OI (1)	0	0	Obs (2)	15	25

Obs: observación directa, Hu: huella, He: heces, OI: olor

Similaridad de Jaccard

Mediante el análisis de similaridad de Jaccard, se obtuvo un grupo bien definido que comparten la totalidad de las especies registradas entre las zonas de estudio, con el 100 % de similaridad; las especies que originan esta unión son *Lontra felina* «nutria o huallaque» y *Lycalopex culpaeus*, «zorro». Los valores presentados en la Tabla 8.39, son expresados en porcentajes con el fin de entender este análisis.

Tabla 8.39. Valores del índice de similaridad de Jaccard entre las zonas en el área de estudio

Zonas	Zona-1	Zona-2	Zona-3
Zona-1	1	0,5	1
Zona-2	0,5	1	0,5
Zona-3	1	0,5	1

Los valores obtenidos en el análisis de similaridad de Jaccard se muestran de manera gráfica en el Figura 8.71. Es necesario precisar que los valores usados para este análisis involucran los registros cualitativos y cuantitativos mediante recorridos por transectos.



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

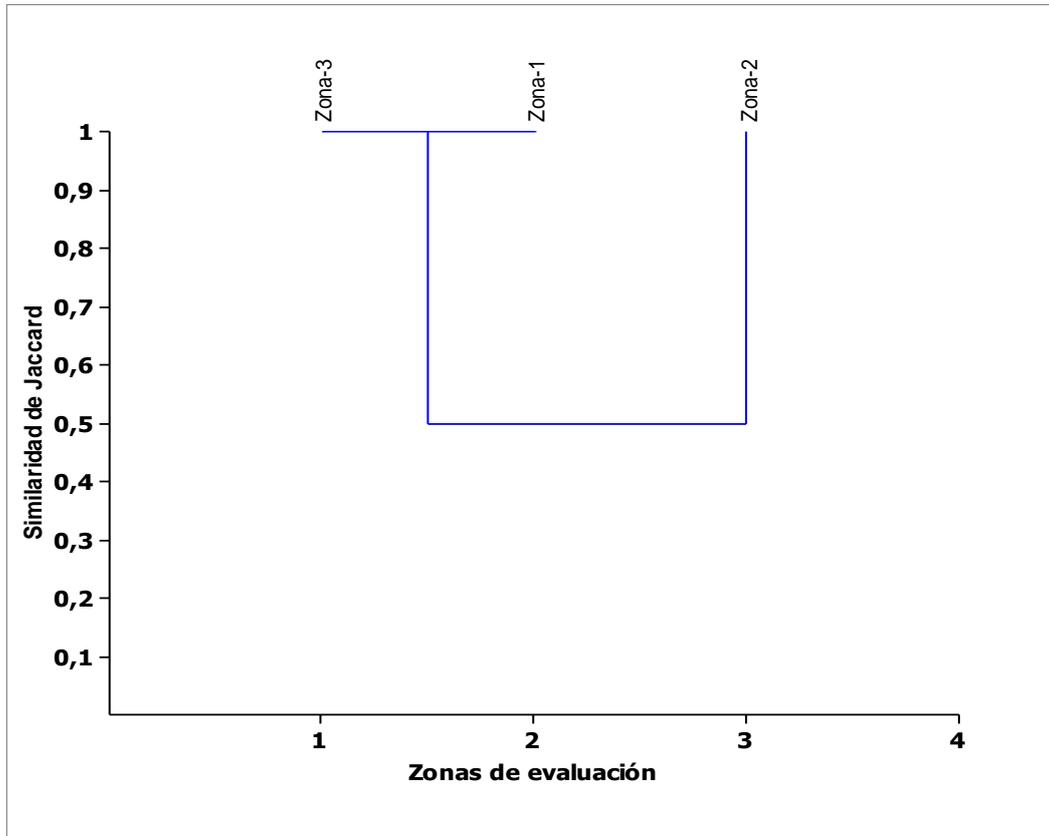


Figura 8.71. Cluster de similaridad de especies compartidas entre las zonas evaluadas

Análisis de evaluación por cámaras trampa

Por medio de cámaras trampa, se obtuvo 14 registros independientes de mamíferos silvestres pertenecientes a un total de 3 especies, 2 órdenes, y 3 familias; entre las que destacan, *Leopardus colocolo* «gato de pajonal», *Lycalopex culpaeus*, «zorro» y *Lagidium viscacia* «vizcacha» como especies frecuentes (Figura 8.72 y Tabla 8.40).

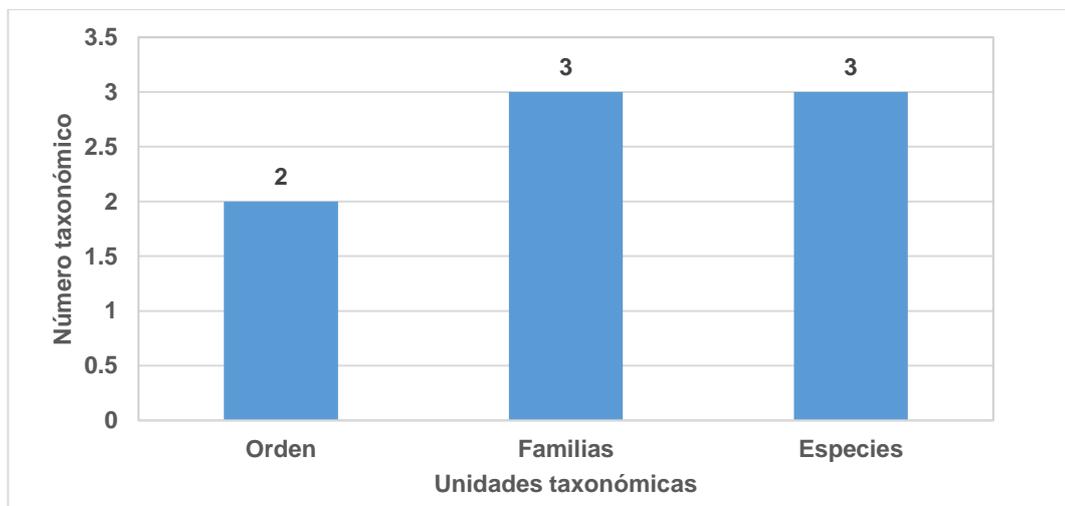


Figura 8.72. Composición taxonómica de registros de mamíferos silvestres por cámaras trampa



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

Tabla 8.40. Registros independientes de mamíferos silvestres por cámaras trampa

Orden	Familia	Especies	Nombre común	Zona-1 EF1 (Laguna Mamacocha)				Zona-2 (río Mamacocha)			Zona-3 (Confluencia entre el río Mamacocha y el río Colca)			Total
				LA-CT1	LA-CT2	LA-CT3	LA-CT4	LA-CT5	LA-CT6	LA-CT7	LA-CT8	LA-CT9	LA-CT10	
Carnivora	Canidae	<i>Lycalopex culpaeus</i>	Zorro	1	0	1	1	0	0	0	2	1	1	7
	Felidae	<i>Leopardus colocolo</i>	Gato del pajonal, oscollo	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2
Rodentia	Chinchillidae	<i>Lagidium viscacia</i>	Vizcacha	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5
Total				2	0	2	1	0	0	0	2	1	6	14

Los registros se obtuvieron solo en 6 de las 10 cámaras trampa instaladas. Las cámaras trampa que no tuvieron registros fueron: LA-CT2, LA-CT-5, LA-CT6 y LA-CT7. La especie *Lycalopex culpaeus*, «zorro» fue el que presentó el mayor registro del total (7 registros independientes), seguido por *Lagidium viscacia* «vizcacha» con 5 registros.

En cuanto a los registros obtenidos por cada zona de evaluación, la zona-3 presentó 9 registros independientes, en donde se instalaron 3 cámaras trampa (LA-CT8, LA-CT9 y LA-CT10) seguido de la zona-1, con 5 registros independientes, producto de 4 cámaras trampa instaladas (Figura 8.73).



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

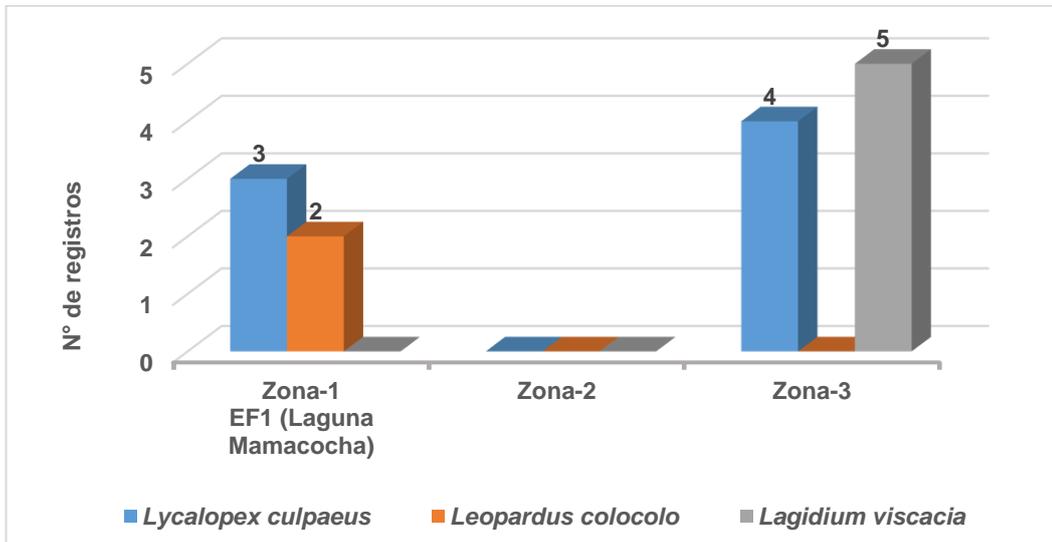


Figura 8.73. Composición de especies por zona de evaluación en el área de estudio

b. Curva de acumulación de especies

En la Figura 8.74 se presenta la curva de acumulación de especies de mamíferos silvestres solo mediante el registro de recorridos por transectos. En ella se observa que la curva exponencial es la que más se ajusta a los datos (R=0,99), en este caso, el número de recorridos por transectos realizados es casi el óptimo para el registro de las 2 especies registradas en el área de estudio. Sin embargo, hay que señalar que con el uso de las cámaras trampa se logró sumar 1 especie a la lista de registros en el área de estudio; esto porque las cámaras trampa ayudaron a obtener información de especies asociadas a hábitats de roquedales como la vizcacha.

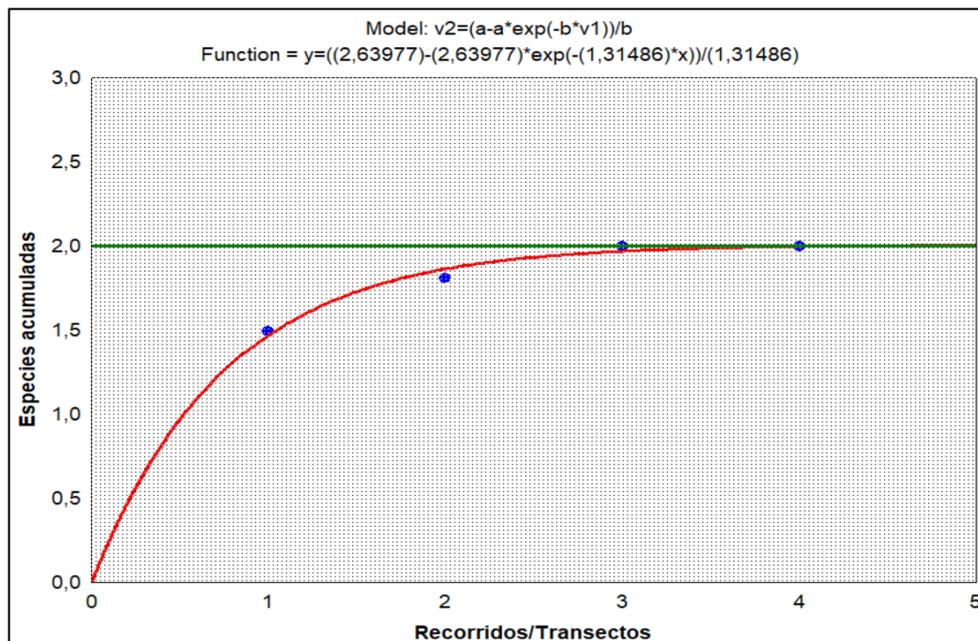


Figura 8.74. Curva de acumulación de especies de mamíferos silvestre en el área de estudio



c. Diversidad por zona de evaluación

En relación a la diversidad de especies por microcuenca, la mayor diversidad se presentó en la zona-3 con $H'_{Log2}=0,99$ bits/individuo, en donde la riqueza estuvo conformada por 2 especies, con una abundancia de 9 individuos (Figura 8.75). Las cámaras instaladas en esta zona fueron la LA-CT8, LA-CT9 y LA-CT10, registrando especies importantes como *Lycalopex culpaeus*, «zorro» y *Lagidium viscacia* «vizcacha». Sin embargo, en la zona-1, correspondiente a los alrededores de la Laguna Mamacocha se destaca la presencia de la especie *Leopardus colocolo* «gato de pajonal» como especie rara o de difícil registro.

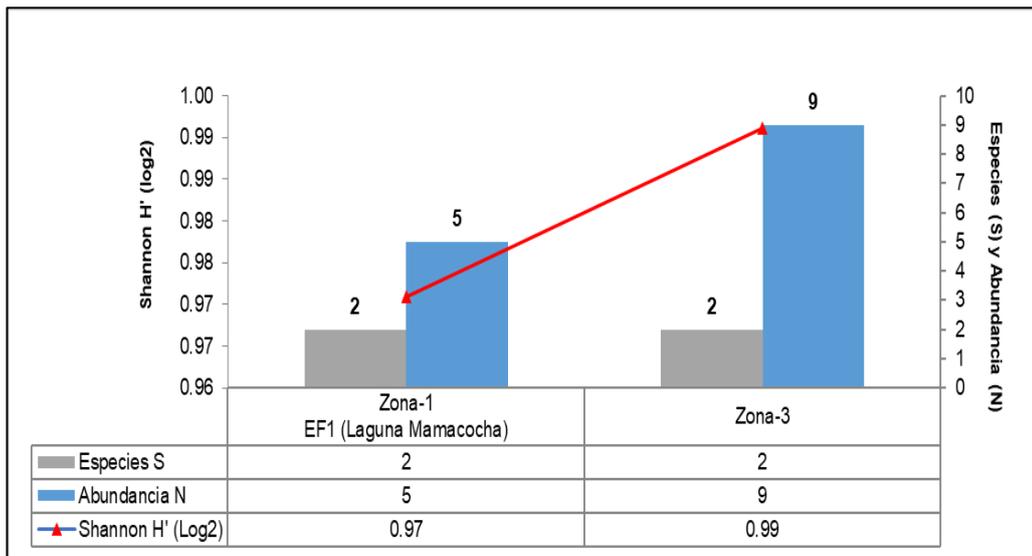


Figura 8.75. Curva de acumulación de especies de mamíferos silvestre en el área de estudio

d. Registros oportunos o casuales

Es importante mencionar que se realizaron registros oportunos o casuales fuera de los recorridos o transectos de evaluación además de las cámaras trampa. Entre estos registros se tiene a la especie *Lagidium viscacia* «vizcacha» con 15 registros por observación directa, *Lepus europaeus* «liebre» con 1 observación cercano a la localidad de Ayo y *Lontra felina* «nutria o huallaque» registrada por medio de 1 huella a orillas del río Colca. Estos registros son tomados en cuenta porque de alguna manera enriquecen la lista de registro de especies para el área de estudio, tal es el caso de la liebre.

Tabla 8.41. Registros oportunos o casuales

Orden	Familia	Especies	Nombre común	Observación	Huella
Rodentia	Chinchillidae	<i>Lagidium viscacia</i>	Vizcacha	15	0
Lagomorpha	Leporidae	<i>Lepus europaeus</i>	Liebre	1	0
Carnivora	Mustelidae	<i>Lontra felina</i>	Nutria, Huallaque	0	1

e. Estado de conservación

Según la IUCN (2019) en categoría de Casi amenazado (NT) se encuentra la especie *Leopardus colocolo* «gato de pajonal». Las amenazas sobre la población de esta especie, radica principalmente en la deforestación y la fragmentación de los bosques, sumado a la caza por su piel (Cossíos *et al.*, 2007; Villalba *et al.*, 2004; Pacheco, 2002). Y la especie



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

Lontra felina «nutria o huallaque» en categoría de En peligro (EN), siendo su amenaza histórica la caza dirigida para peletería y en la actualidad sus poblaciones se encuentran afectadas por el uso de explosivos en la pesca, pérdida de ambientes de residencia debido a la urbanización, la contaminación y eventuales capturas incidentales (Valqui, 2008). El resto de las especies se encuentran categorizadas como de bajo riesgo o de menor preocupación (LC).

Se registraron 2 especies listadas en la legislación de conservación nacional (Decreto Supremo N.º 004-2014-MINAGRI), siendo las especies de mamíferos del orden Carnivora, el *Leopardus colocolo* «gato de pajonal» categorizada con Datos insuficientes (DD) y la especie *Lontra felina* «nutria o huallaque» categorizada como En peligro (EN).

De acuerdo con los apéndices de la CITES (2017), se identificaron 3 especies de mamíferos mayores listadas con fines de protección ante la amenaza de explotación excesiva. Este número incluye a la especie *Leopardus colocolo* «gato de pajonal» como especie importante para el apéndice II. Este apéndice incluye a la especie *Lycalopex culpaeus*, «zorro» que, si bien en la actualidad no se encuentran necesariamente en peligro, pero que pueden llegar a esa situación a menos de que el comercio de dichos especímenes no esté sujeto a una reglamentación estricta y el comercio de estas se realiza excepcionalmente.

En el apéndice I, se lista a la especie carnívora de la familia Mustelidae, *Lontra felina* «nutria o huallaque» sobre las que se cierne el mayor grado de peligro (extinción) entre las especies registradas.

Tabla 8.42. Especies en estado de conservación

Orden	Familia	Especies	Nombre común	IUCN (2019)	CITES (2017)	D.S. N.º 004-2014
Rodentia	Chinchillidae	<i>Lagidium viscacia</i>	Vizcacha	Lc	---	---
Lagomorpha	Leporidae	<i>Lepus europaeus</i>	Liebre	Lc	---	---
Carnívora	Felidae	<i>Leopardus colocolo</i>	Gato del pajonal, oscollo	NT	II	DD
Carnívora	Canidae	<i>Lycalopex culpaeus</i>	Zorro	Lc	II	
Carnívora	Mustelidae	<i>Lontra felina</i>	Nutria, Huallaque	EN	I	EN

EN: En peligro, NT: Casi amenazado, DD: Datos insuficientes, Lc: Preocupación menor; ---: no aplica

9. DISCUSIÓN

En esta sección se discutirá los principales resultados de la calidad de agua y sedimento, además de los estudios especializados de comunidades hidrobiológicas, hidroquímica, caracterización geológica, flora y fauna silvestre.

9.1. Agua, sedimento y comunidades hidrobiológicas

El área de evaluación de agua, sedimento y comunidades hidrobiológicas se enfocó en la parte baja de la cuenca del río Mamacochoa que abarca la descarga de la laguna Chachas (LCha-1), río Chachas (RCha-1), quebrada Subna (QSub-1), laguna Mamacochoa (LMam-1, LMam-2, LMam-3 y LMam-4), río Mamacochoa (RMam-2, RMam-3 y RMam-4) y río Colca (RCol-1 y RCol-2). Además, se consideró el manantial sin nombre 1 (MSN-1), canal de la descarga de la microcentral Ayo (DCMA-1) y canal de riego Ayo (CAAyo-1 y CAAyo-2).

En la Figura 9.1 se muestra la distribución de los puntos de muestreo evaluados de agua, sedimento y comunidades hidrobiológicas en octubre de 2018 y mayo de 2019. Cabe indicar que, no todas las matrices ni todos los puntos fueron evaluados en ambas evaluaciones; lo que se detalla en los ítems 7.1.2., 7.2.2 y 7.2.3.

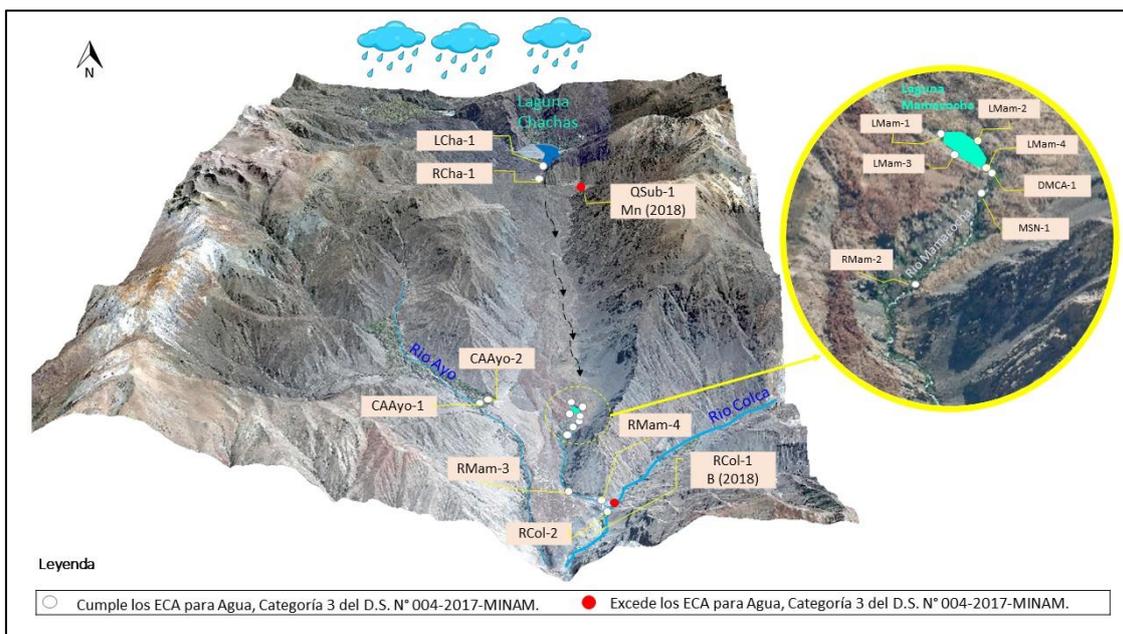


Figura 9.1. Distribución de puntos de muestreo evaluados de agua, sedimento y comunidades hidrobiológicas

El régimen hidrológico de la laguna y río Mamacochoa difiere de la laguna y río Chachas, quebrada Subna, canal de riego Ayo y río Colca, debido a que el agua de la laguna Mamacochoa proviene de una resurgencia³⁸. La Figura 9.2 muestra el hidrograma de precipitaciones medias mensuales de las estaciones meteorológicas ubicadas en la parte alta de la cuenca del río Mamacochoa (Andahua), microcuenca del río Ayo (Ayo) y la cuenca del río Colca (Cabanaconde y Chuquibamba); comparados con los registros de caudales en la descarga de la laguna Mamacochoa.

³⁸ La resurgencia es definida como la reaparición de un flujo subterráneo a la superficie, el origen de una resurgencia proviene de agua superficial que en una parte o la totalidad del flujo por escorrentía se infiltra al subsuelo o magma para resurgir a la superficie (González, *et al.* 1986).

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

En dicha Figura se observa un desfase entre el período de mayores precipitaciones entre enero y marzo (temporada húmeda) con respecto a los máximos caudales en la descarga de laguna Mamacocho de abril a julio.

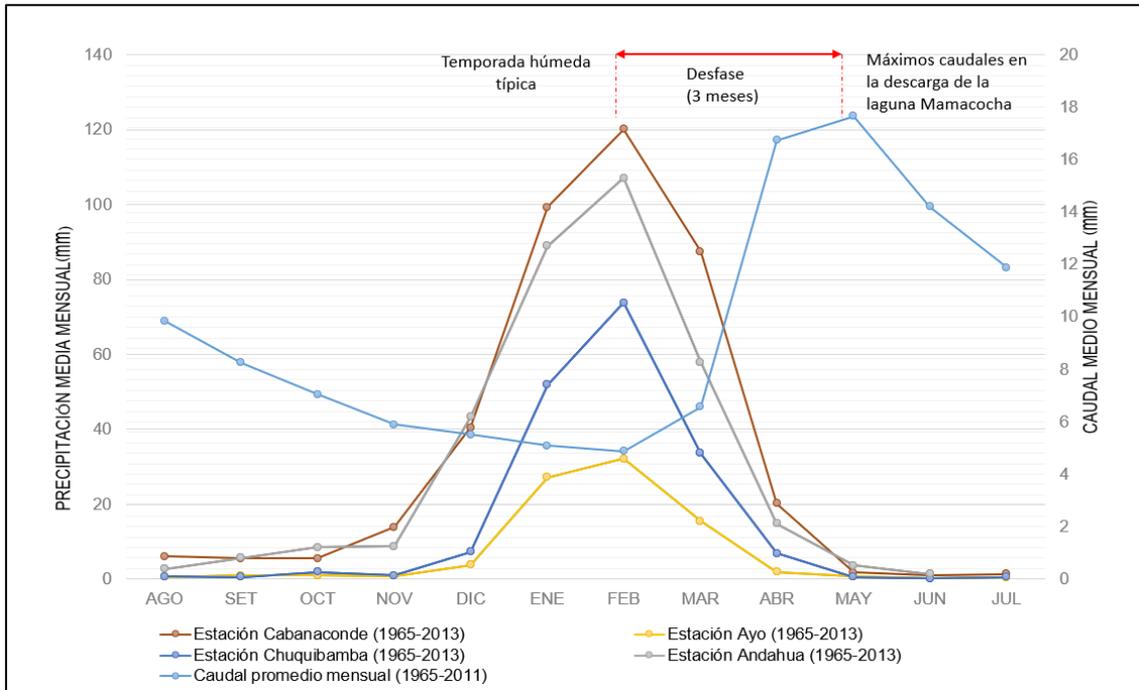


Figura 9.2. Hidrograma de precipitaciones medias mensuales (1965-2013) en estaciones cercanas al área circundante a la laguna Mamacocho comparado con las descargas medias mensuales (1965-2011) en la laguna Mamacocho.

Fuente: ANA (2015) e ITS (2017)

El basamento rocoso de la parte baja de la cuenca del río Mamacocho, de la laguna Chachas a la laguna Mamacocho, consiste en rocas sedimentarias de la Formación Socosani (calizas y lutitas negras) y Formación Puente (areniscas intercaladas con lutitas negras), asimismo, en ambas márgenes de la quebrada Subna se emplazaron intrusivos de granito-tonalita. Sobre estas rocas se depositaron materiales aluviales de poco espesor que contiene clastos de rocas sedimentarias e intrusivas en matriz arenograsosa. El fondo del valle Andahua se encuentra cubierto por lavas andesíticas, basálticas y latíandesíticas del Grupo Andahua compuesto por plagioclasas, piroxenos, olivino, hornblenda y titanomagnetita (Galas, 2009); y en menor proporción por lavas del Grupo Barroso (Figura 9.3).

Los flujos de agua superficial de la descarga de la laguna Chachas y la quebrada Subna se infiltran en las rocas volcánicas (acuífero volcánico) y recorren aproximadamente 18 km por medios aluviales pleistocenos (acuífero poroso no consolidado) sobre el basamento sedimentario deformado y stocks de intrusivos acuitardos (Peña, *et al.*, 2010). Las estructuras geológicas (fallas y pliegues) que cortan en dirección NO-SE a la laguna Mamacocho favorecieron la resurgencia y el embalse de estos flujos, que posteriormente discurren superficialmente en el río Mamacocho hacia la confluencia con el río Colca.

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

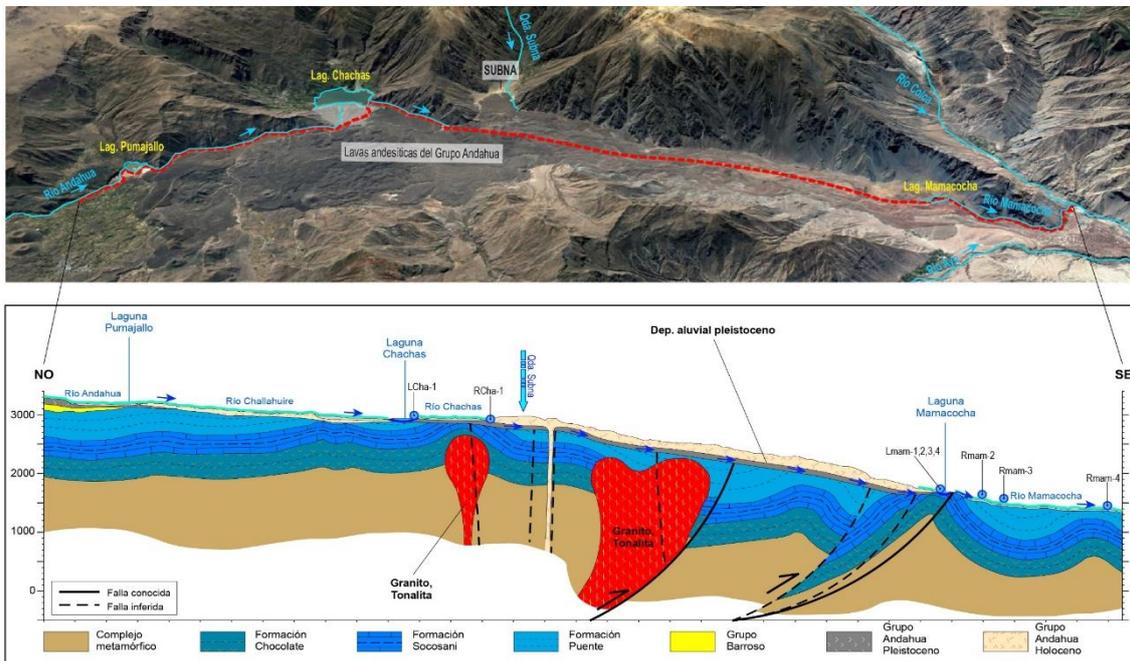


Figura 9.3. Sección geológica longitudinal desde el río Andahua hasta el río Colca

Los parámetros evaluados en mayo de 2019³⁹ y octubre de 2018 en la descarga de la laguna Chachas (LCha-1), río Chachas (RCha-1) y quebrada Subna (QSub-1) cumplieron con los valores establecidos en los ECA para Agua 2017 categoría 4⁴⁰ y categoría 3⁴¹; a excepción del parámetro manganeso que en octubre 2018 excedió el estándar mencionado en la quebrada Subna para la categoría 3.

En el punto LCha-1 se registró altas concentraciones de manganeso (0,2616 mg/L) en octubre de 2018 con una considerable disminución de dicha concentración (0,0111 mg/L) en mayo de 2019; a diferencia de la quebrada Subna que registró menor disminución, de 0,2193 mg/L a 0,1594 mg/L, manteniendo las más altas concentraciones en ambas evaluaciones.

La presencia de manganeso en el punto LCha-1 estaría relacionada a la interacción agua-roca (evaluado previamente con el diagrama de Gibbs) y a los procesos de alteración de minerales susceptibles (cristales de piroxenos) y oxidación en rocas volcánicas máficas y a zonas con presencia de azufre debido a la actividad del volcán Ninamama (Galas, 2009). Mientras que, el manganeso en el punto QSub-1 se debería al predominio de rocas intrusivas (minerales máficos) asociadas a zonas de alteración hidrotermal, cuyas anomalías espectrales⁴² predomina en óxidos de hierro (Fe(III)) y en menor proporción arcillas (Ingemmet, 2018), ubicadas en la naciente (cerro Jallhua) y al sureste (cerro Subna) de la quebrada Subna (Figura 9.4).

³⁹ En octubre 2018 no se registró flujo de agua en el punto RCha-1 debido a que la laguna Chachas no registro rebose de agua, concordante con la estacionalidad.

⁴⁰ El punto LCha-1, comparado con la Categoría 4: «Conservación del ambiente acuático» subcategorías E1: Lagunas y lagos, de los ECA para Agua, Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM.

⁴¹ El punto RCha-1 y QSub-1, comparado con la Categoría 3: «Riego de vegetales y bebida de animales en la subcategoría D1: Riego de animales y D2: bebida de animales», de los ECA para Agua, Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM.

⁴² Las anomalías espectrales indican zonas de alteración con contenido de óxidos de hierro (Fe³⁺) y arcillas, obtenidos a partir de imágenes del sensor ETM+ del satélite Landsat-7 y OLI de Landsat-8. Estos sectores indican la presencia de minerales secundarios por procesos supérgenos y alteración argílica asociado a ambientes epitermales

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

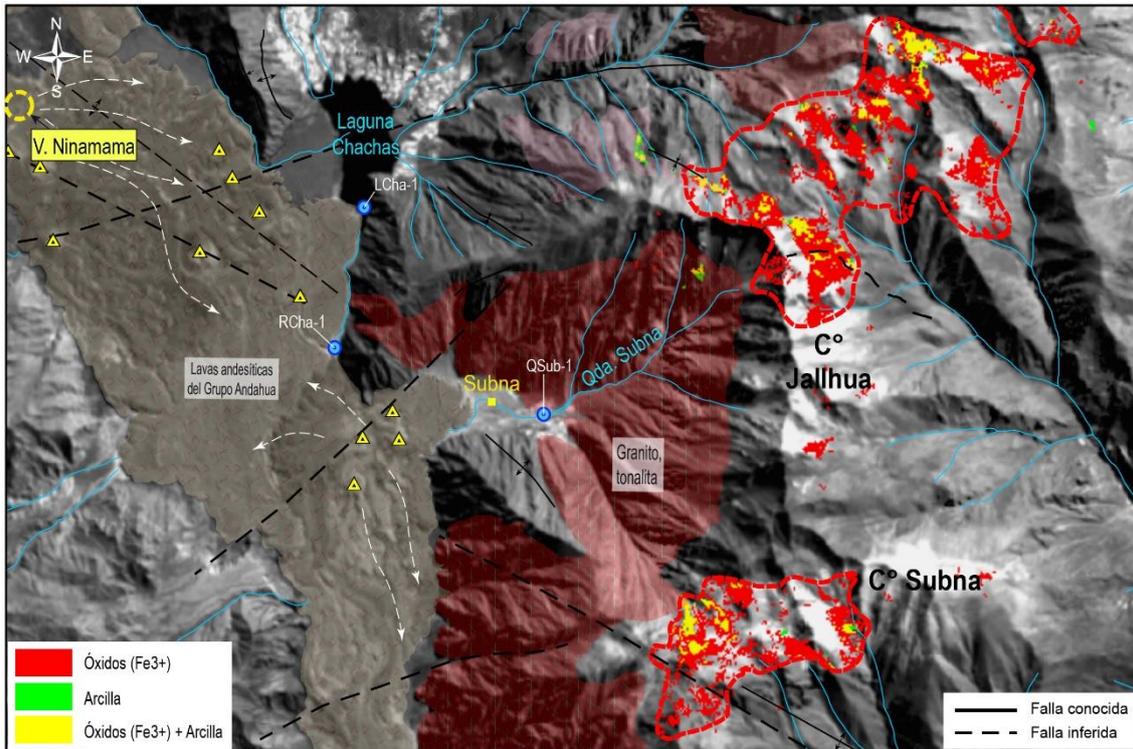


Figura 9.4. Anomalías espectrales de óxidos de hierro y arcillas a partir de imágenes Lansat-7 y Lansat-8 en el anexo Subna

Las concentraciones de manganeso en sedimento (Ingemmet, 2002; Ingemmet 2011)⁴³ fueron de 1267 mg/kg a 2182 mg/kg; asimismo, en octubre de 2018 en la laguna Chachas (LCha-1) fue de 966 mg/kg. Adicional a este elemento, se reportaron altas concentraciones de hierro y aluminio.

De la relación entre metales totales y disueltos, en la laguna Chachas se ha determinado que el mayor porcentaje de manganeso se encuentra de forma disuelta en ambos años, a pesar de la disminución de concentración, a diferencia de los metales aluminio y hierro que se encuentran en forma suspendida en ambos años.

La presencia del aluminio y hierro en suspensión estaría relacionada al efecto de la erosión hídrica del suelo de uso agrícola (Castro, 2013) que se desarrollan al norte y noreste de la laguna Chachas⁴⁴, los cuales son transportados principalmente en temporadas de mayor lluvia. Al respecto, si bien de acuerdo con el régimen hidrológico (Figura 9.2), octubre de 2018 y mayo de 2019 son temporadas de baja precipitación media mensual, en octubre llovió más que en mayo de acuerdo con la información de las estaciones Cabanaconde y Andahua; por lo que hay mayor concentración de los citados metales.

La evaluación hidroquímica de la descarga de la laguna Chachas (LCha-1) indica el cambio de facie sulfatada cálcica (SO₄-Ca) con pH básico (8,06) en octubre de 2018 a bicarbonatada-sulfatada cálcica (HCO₃-SO₄-Ca) con pH ácido (6,89) en mayo de 2019. Cabe mencionar que, el río Chachas (RCha-1) registró una pequeña variación en la

⁴³ Ingemmet (2011). Boletín 25. Cuenca Camaná-Majes-Colca.2011:15081.

Ingemmet (2002). Boletín 8-11 y 12 Paralelo 12 - 19 (Franja 1, 2 y 3) 2002: 4229

⁴⁴ También se registró las mayores concentraciones de aluminio y hierro en suspensión en temporada de mayor lluvia en el río Colca (RCol-1) y en el canal de riego Ayo (CAAyo-1 y CAAyo-2), en donde aguas arriba se ubican áreas con suelos de uso agrícola en el valle de Canco (margen izquierda) y de Ayo (en ambas márgenes), respectivamente.



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

concentración de sulfatos y bicarbonatos en el 2019 respecto a LCha-1, por lo que presentó facie sulfatada-bicarbonatada cálcica ($\text{SO}_4\text{-HCO}_3\text{-Ca}$) con pH básico (7,63).

El cambio de facie hidroquímica (incremento y disminución de los principales iones) y pH en la laguna Chachas, en los meses evaluados de ambos años, también estaría relacionado a la temporalidad, debido a que en mayo 2019 se registró mayor flujo de agua en la descarga de la laguna, por lo cual fue posible evaluar el punto RCha-1, en cuyo tramo recorrido de 1,70 km aproximadamente se incrementó ligeramente los iones de metales alcalinos (sodio y potasio) y alcalinos térreos (calcio, estroncio y magnesio) siendo el pH básico. Similar comportamiento tuvo la laguna Chachas, con un mayor incremento de pH temporal (2018 a 2019), debido a un mayor incremento de los citados iones alcalinos y alcalinos térreos.

La dinámica descrita anteriormente de la laguna y río Chachas se debería a que tiene baja concentración de iones en comparación con los demás cuerpos de agua del área evaluada; por lo que es susceptible a cambios fisicoquímicos del agua superficial por las variables meteorológicas como las precipitaciones y sus efectos en los cuerpos de agua como el incremento del caudal.

En cambio, la quebrada Subna se caracterizó por tener aguas sulfatadas cálcicas ($\text{SO}_4\text{-Ca}$) en ambos años, sin cambio de pH significativo (de 7,12 a 7,16) y con una variación mínima de los iones y presencia de aluminio en forma disuelta con 75,7 % (octubre de 2018) y 67,5 % (mayo de 2019)⁴⁵ que difiere de la forma suspendida en la laguna Chachas con 95,8 % (octubre de 2018) y 68,6 % (mayo de 2019), y mínima variabilidad temporal de concentración de manganeso con predominancia en ambos años de su forma disuelta.

Otra diferencia fisicoquímica resaltante es que la quebrada Subna registró las más altas concentraciones de los metales pesados: zinc, cobre, níquel, cobalto y molibdeno en forma disuelta, y el metaloide silicio o silicatos. La presencia de estos elementos se asocia a las zonas de alteración hidrotermal ubicadas en la naciente de la quebrada Subna.

⁴⁵ La quebrada Subna es el único cuerpo de agua de los evaluados que tiene predominancia del aluminio en su forma disuelta.



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA

SSIM: Subdirección de Sitios Impactados

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

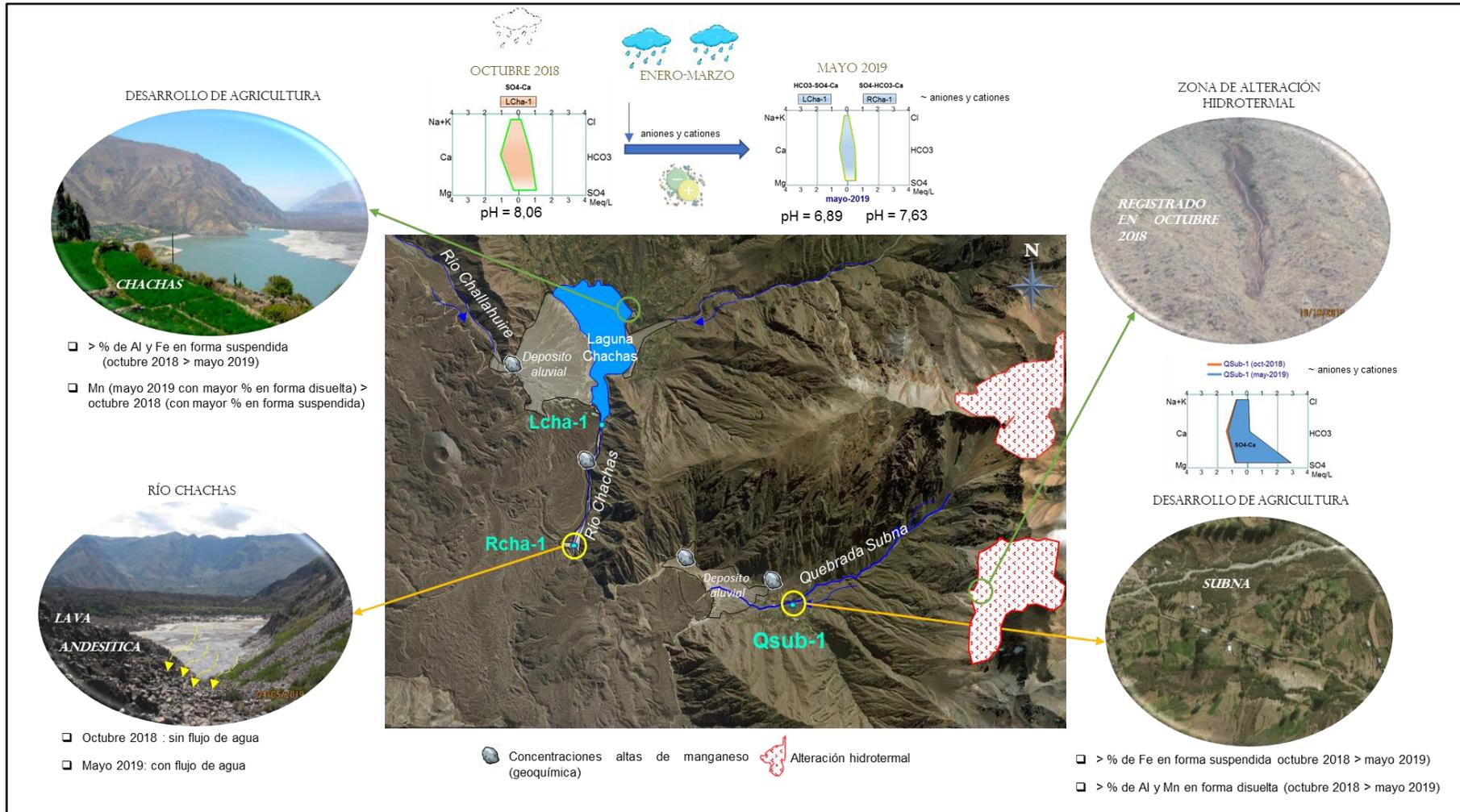


Figura 9.5. Modelo conceptual de la laguna y río Chachas, y quebrada Subna



Además, la dinámica fisicoquímica del hierro y aluminio estaría relacionada a la distancia ($D_{\text{Min-MD}}$ y $D_{\text{Min-MI}}$) de los suelos de uso agrícola y el tramo recorrido por el cuerpo de agua, que es mayor en la laguna Chachas (LCha-1), a diferencia a la quebrada Subna (QSub-1). Tal como se observa en la Figuras 9.6 y 9.7a. Similar comportamiento se ha observado el río Colca (RCol-1) y canal de riego Ayo (CAAyo-1 y CAAyo-2) tal como se aprecia en la Figura 9.7b y 9.8.



Figura 9.6. Áreas de terrenos agrícolas alrededor de la laguna Chachas

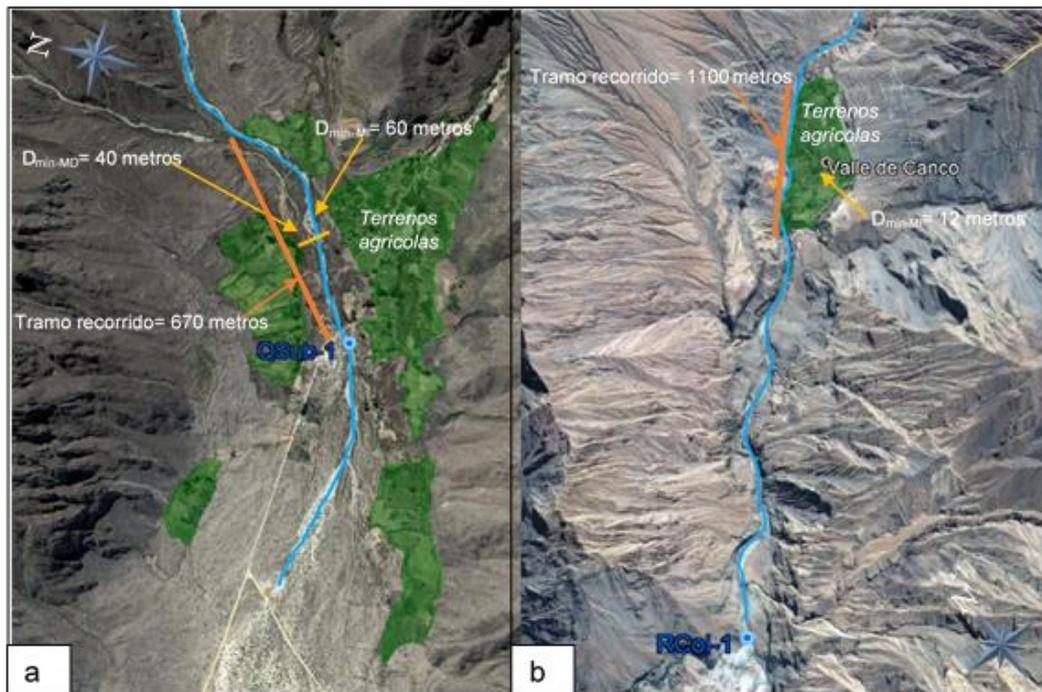


Figura 9.7. Áreas de terrenos agrícolas en las márgenes de a) quebrada Subna y b) río Colca



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad



Figura 9.8. Áreas de terrenos agrícolas alrededor del canal de riego Ayo

La laguna Mamacochoa está controlada por una barrera impermeable compuesta por niveles sedimentarios (areniscas cuarzosas, lutitas negras, limolitas y calizas) deformados, debido a esfuerzos compresivos (fallas inversas y pliegues) observados en el cerro Canco al noreste de la laguna (Figura 9.9). Posterior a la laguna, en el lecho del río Mamacochoa, predominan rocas sedimentarias con leve desarrollo de material fluvial por donde discurren las aguas de rebose de la laguna Mamacochoa.

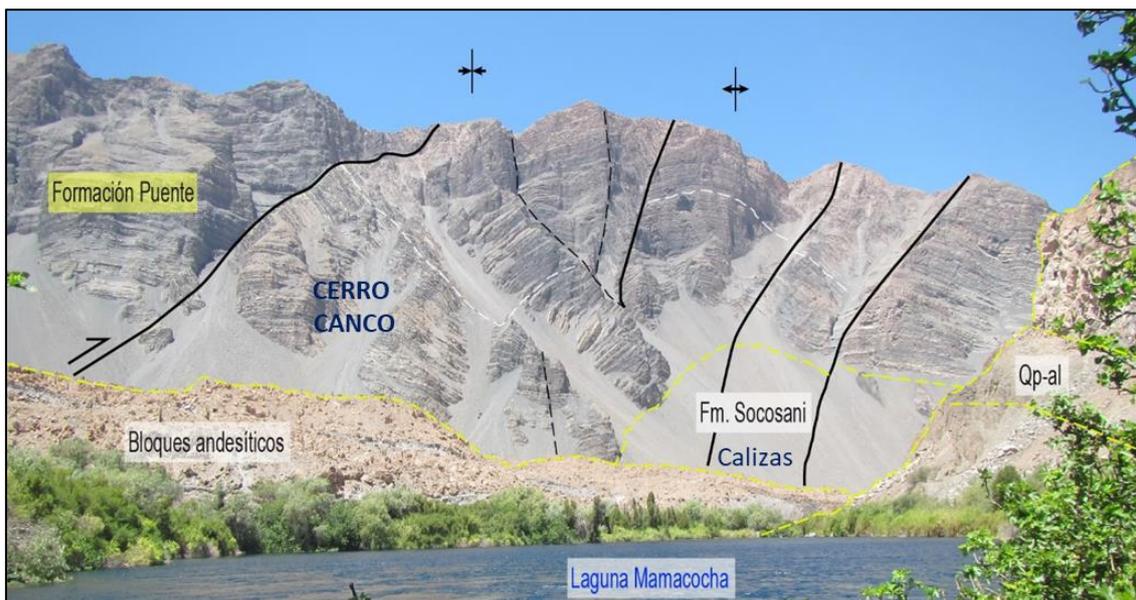


Figura 9.9. Afloramientos sedimentarios deformados que dan las condiciones para la resurgencia Mamacochoa



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

Los parámetros evaluados en mayo de 2018 y octubre de 2019 en la laguna Mamacocha en los puntos de muestreo LMam-1, LMam-2, LMam-3 y LMam-4 cumplieron con los valores establecidos en los ECA para Agua 2017 categoría 4⁴⁶.

La laguna Mamacocha no registró variación temporal ni espacial significativa de la composición fisicoquímica evaluada en sus 4 puntos de muestreo, tales como pH básico (7,16 a 7,31) y la suma de los aniones (52,3 a 56,3 mg/L) y cationes (149,3 a 153,8 mg/L) relacionados a la composición mineralógica, a una temperatura de 17,4 a 19,0 °C (característico de clima templado) y una buena oxigenación de 6,84 a 7,88 mg/L que permite la vida acuática de diferentes especies como las macrófitas sumergidas (*Myriophyllum aquaticum*) y el pejerrey de río (*Basilichthys semotilus*) observadas en la Figura 9.10.

De la relación entre metales totales y disueltos, la laguna Mamacocha registró 19 elementos entre metales y metaloides con mayor porcentaje en forma disuelta, desde los alcalinos como sodio y potasio y alcalinos térreos como calcio, estroncio, magnesio y bario hasta metales pesados como cobre, vanadio, uranio y zinc, metaloides como arsénico, boro y silicio, además del no metal o nutriente fósforo. En caso del hierro y aluminio, estos estuvieron en bajas concentraciones con mayor porcentaje en forma suspendida en octubre de 2018 y en mayo de 2019 fueron menores a sus límites de detección; mientras el manganeso se reportó en forma disuelta en octubre de 2018 y fue menor al límite de detección en mayo 2019.

El comportamiento anterior se debe a la formación vegetal que bordea la laguna (Figura 9.2), la cual es una barrera protectora natural durante los meses de mayor precipitación; no permitiendo el transporte de material sólido de minerales del suelo (óxidos, hidróxidos, silicatos, carbonatos y otros) que contienen elementos con mayor abundancia en la corteza continental como silicio, aluminio, calcio, hierro, magnesio, manganeso, entre otros (Rudnick, 1995), los cuales puedan luego disolverse o mantenerse en forma suspendida.

Asimismo, el rango de conductividad de 285 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (octubre de 2018) a 297 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (mayo de 2019) indican similar material disuelto y la concentración de sólidos suspendidos totales fueron menores al límite de detección ($< 2 \text{ mg/L}$) en octubre de 2018 a causa de la baja o nula entrada de material en suspensión de los suelos ribereños.

Otro factor importante que mantiene las características fisicoquímicas semejantes de la laguna es la recarga y descarga constante que se da (Figura 9.10), con un caudal promedio al año de 6,8 m^3/s y máximos que llegan en promedio a 20 m^3/s (entre abril y mayo), que no permiten que el material en suspensión precipite al fondo de la laguna.

De otro lado, la laguna Mamacocha al tener poca variación temporal de la composición fisicoquímica tiene la misma facie bicarbonatada-sulfatada cálcica ($\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca}$) en octubre de 2018 y mayo de 2019, tal como se muestra en las Figuras 9.11 y 9.12 a través del promedio de las concentraciones de los iones de los 4 puntos de muestreo (LMam-p).

⁴⁶ El punto LCha-1 fue comparado con la categoría 4: «Conservación del ambiente acuático» subcategorías E1: Lagunas y lagos, de los ECA para Agua, Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM.



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA

SSIM: Subdirección de Sitios Impactados

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

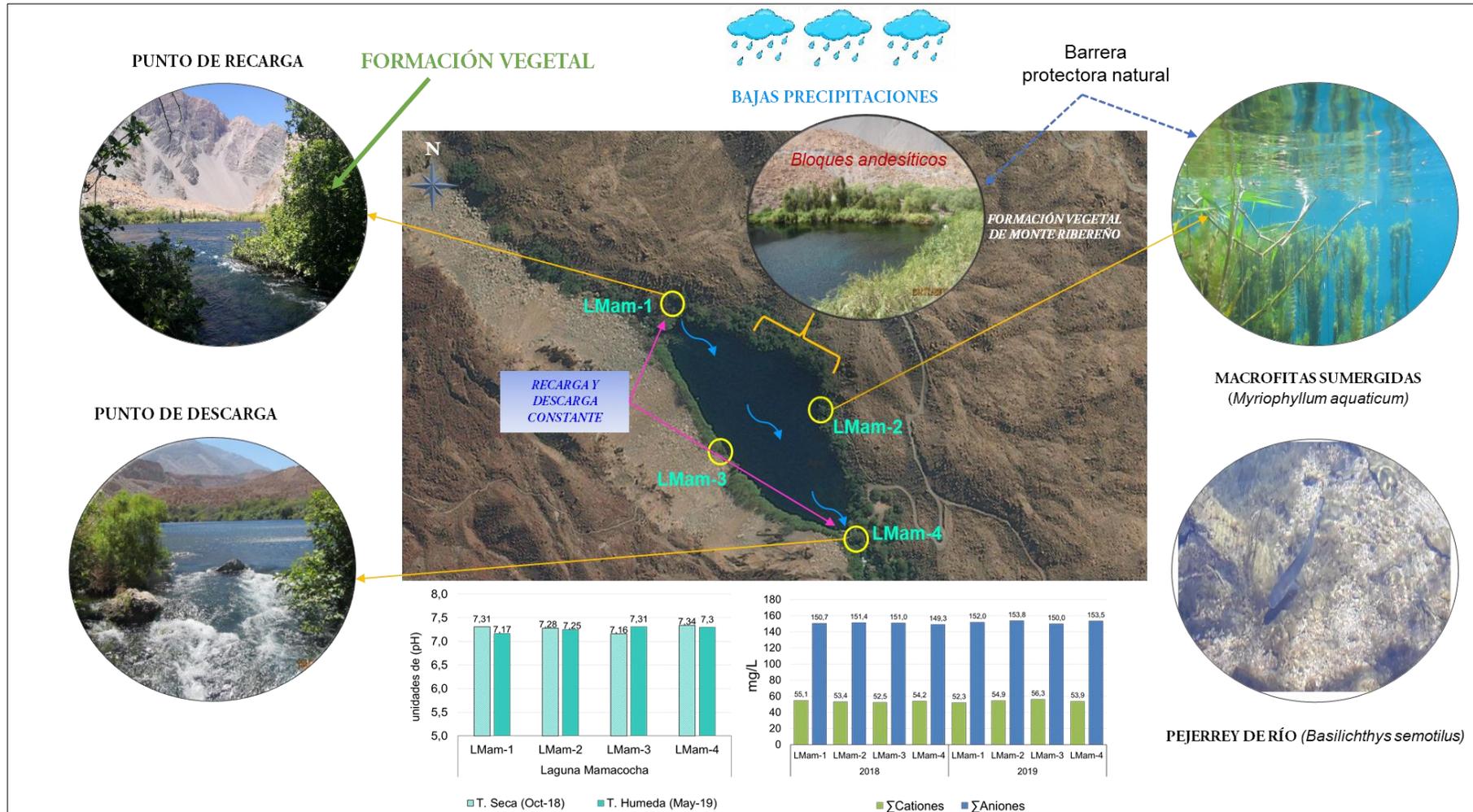


Figura 9.10. Modelo conceptual de la laguna Mamacocha



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

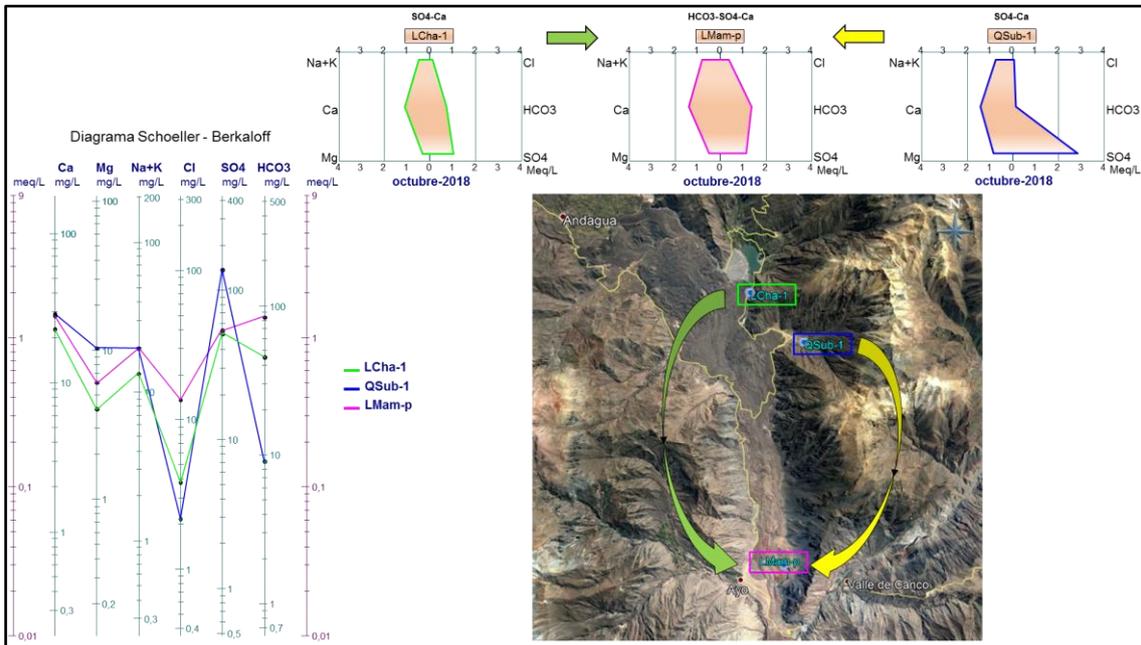


Figura 9.11. Hidroquímica de la laguna Mamacocho octubre de 2018

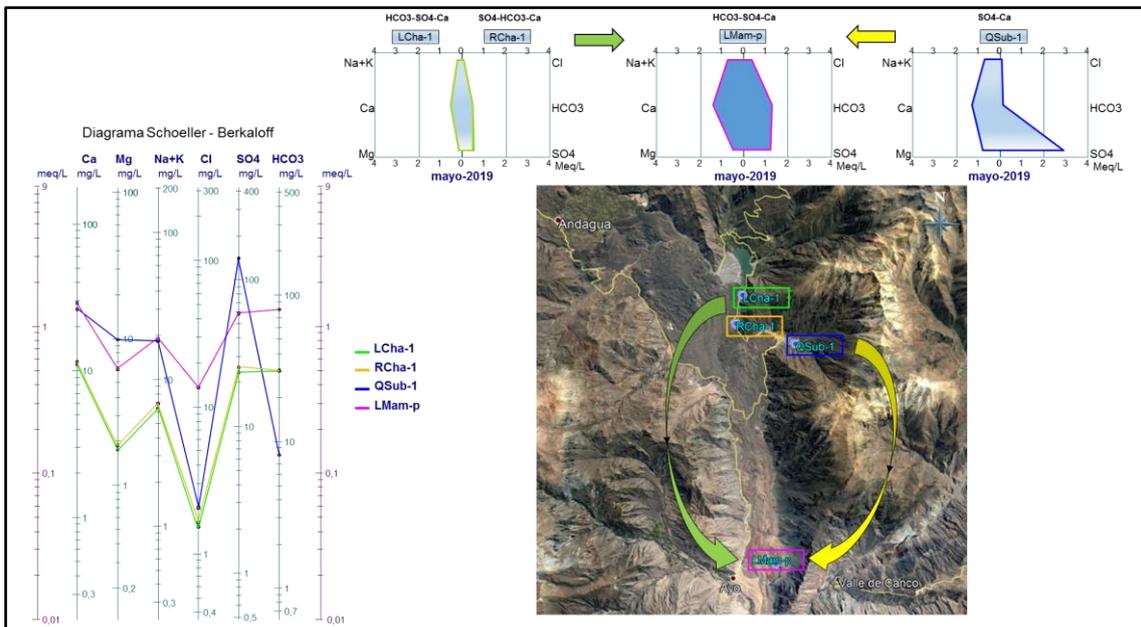


Figura 9.12. Hidroquímica de la laguna Mamacocho mayo de 2019

Dichas Figuras muestran también que las facies bicarbonatadas-sulfatadas cálcicas (HCO3-SO4-Ca) de la laguna Mamacocho difieren respecto a la descarga de laguna Chachas, río Chachas y quebrada Subna, esta última con mayor concentración de sulfatos (SO4), debido a que la resurgencia que recarga la laguna Mamacocho incrementa la concentración de bicarbonatos (descarga de la laguna y río chachas, y quebrada subna) y la dilución de sulfatos (quebrada subna) por la interacción de los flujos con rocas volcánicas andesíticas y andesitas basálticas (alto contenido de plagioclasas cálcicas) y niveles sedimentarias calcáreas (alto contenido de calcita en calizas), areniscas y lutitas negras de las formaciones Socosani y



Puente (Figura 9.3), en concordancia con el diagrama de Gibbs. Según el diagrama de Scatter el flujo de agua que abastece la laguna Mamacocha se caracterizó por ser de tipo local.

La variación de cada una de las concentraciones de los iones se observa detalladamente mediante los diagramas de Schoeller-Berkaloff indicadas en las Figuras 9.11 y 9.12, en donde lo más resaltante es que la laguna Mamacocha registró mayor concentración de bicarbonatos y cloruros, y similar concentración de calcio que la quebrada Subna.

Respecto a la evaluación de comunidades hidrobiológicas en la laguna Chachas (LCha-1) y la laguna Mamacocha (LMam-2 y LMam-3), la diversidad para fitoplancton en la laguna Mamacocha (valor N1 de 12,09 en octubre 2018) fue mayor que la laguna Chachas (N1 de 6,45 registrado en octubre 2018). Esto está relacionado con el mayor número de especies reportadas en laguna Mamacocha (33 especies) y un alto índice de Pileou (J') de 0,86 en LMam-2 y 0,84 para LMam-3. Mientras que, en la laguna Chachas el índice de Pileou (J') de 0,62 indicaría mayor dominancia de un menor número de especies, como *Asterionella formosa* y *Aulacoseira granulata* (Heip y Gatón, 2002; Heip *et al.* 1998).

El phylum Cyanobacteria solo fue reportado en la laguna Mamacocha, con 6 especies identificadas, a diferencia de la laguna Chachas que reportó un mayor número de taxones de Bacillariophyta (16) y una especie única de Orchophyta (*Mallomonas* sp.). La presencia de Cyanobacteria en laguna Mamacocha está relacionada a la baja concentración de iones hierro (menor a 0,0133 en octubre 2018 y menor 0,0004 en mayo 2019), a la presencia de concentraciones relativamente altas de fósforo de forma disuelta (de 0,040 a 0,063 mg/L para ambos años) y a las condiciones oligotróficas de la laguna; los cuales generan un microambiente propenso para el desarrollo de pequeños bloom de estos organismos (Sorichetti *et al.*, 2013). En cambio, la laguna Chachas (LCha-1) se caracterizó por poseer un nivel alto de hierro disuelto (0,540 mg/L), valores bajos de fósforo disuelto (0,015 mg/L), además de presentar la mayor concentración de sólidos en suspensión (19 mg/L); condiciones poco favorables para cianobacterias, y que podrían explicar la menor biodiversidad de Bacillariophyta de esta laguna (Wetzel, 2001).

El análisis de diversidad beta de ambas lagunas para fitoplancton nos muestra que estos ambientes lenticos poseen una composición con bajo índice de similaridad (0,35 entre LMan-2 y LCha-1 en 2018), mientras que la similaridad es mayor entre los puntos analizados en laguna Mamacocha (0,57 entre LMam-2 y LMam-3). Dichos resultados guardan concordancia debido a que ambas lagunas tienen diferente dinámica de recarga; la laguna Chachas mediante precipitación y escorrentía y la laguna Mamacocha producto de una surgencia. Como consecuencia no tenemos una conectividad entre las lagunas, lo que favorecería una mayor diversificación de especies en el ambiente de características oligotróficas en la laguna Mamacocha (Wetzel, 2001).

La mayor diversificación de especies en la laguna Mamacocha también se puede apreciar para el grupo de zooplancton, en donde se ubicaron hasta 5 taxones en el punto LMam-2. Sin embargo, durante el monitoreo del 2018 solo el punto LMam-3 reportó una especie de rotífero. Esto se relaciona con la mayor recarga de la laguna en mayo 2019 a diferencia de octubre 2018, lo cual brindaría mayor mezcla de aguas en la laguna y probablemente mejores oportunidades para reproducción debido a la disponibilidad de alimento (Gómez-Marquez *et al.*, 2013).

El análisis de perifiton en los puntos LCha-1 y RCha-1 mostro índices N1 elevados para la evaluación realizada en mayo 2019 (18,98 y 13,36 respectivamente). En la laguna Mamacocha (LMam-1 y LMam-4) se obtuvo índices con valores N1 de 13,75 y 17,7. Respecto a los índices de Pileou (J'), cercanos al valor 1 nos indicarían baja dominancia de una especie en particular, y en cambio favorecimiento al incremento de biodiversidad en las microalgas



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

bentónicas (Wetzel, 2001). La abundancia de perifiton osciló de 7200 a 10080 organismos/cm² entre los muestreos de 2018 y 2019, demostrando que al igual que en la zona pelágica, las microalgas bentónicas representarían un primer eslabón de suma relevancia para la cadena trófica de ambas lagunas (Moreira, 1988).

La evaluación de comunidades de macroinvertebrados bentónicos se llevó a cabo para ambientes lenticos (laguna Chachas y Mamacocha) y ambientes loticos (río Chachas, quebrada Subna, río Mamacocha y río Colca). En términos de biodiversidad, la laguna Mamacocha mostro una mayor diversidad, con valores máximos N1 para el 2018 de 8,71 y 6 en el punto LMam-2 e índices J' igual a 1, demostrando alta diversificación de especies y poca dominancia de algún grupo en específico (Heip y Gaton, 2002; Heip *et al.*, 1998).

Otra característica resaltante de la laguna Mamacocha es que presenta una zona de macrofitas emergentes y sumergidas, las cuales estarían aportando una mayor cantidad de materia orgánica unida a la mayor abundancia de perifiton en dicha laguna, la cual estaría sosteniendo una alta diversidad de macroinvertebrados. Mientras que, en la laguna Chachas la zona de macrofitas sumergidas y el tipo de sustrato de arena y canto rodado, favorecerían la mayor diversificación de macroinvertebrados, creando diferentes nichos que serían aprovechados por organismo de estrategia, como Ephemeropteros, cuando las condiciones son favorables (Zilli *et al.*, 2008; Villamarín *et al.*, 2014).

Adicionalmente, en la laguna Mamacocha se identificó la especie *Basilichthys semotilus* llamada comúnmente «pejerrey de río», y aunque esta especie ha sido poco estudiada en el Perú, su conocimiento se limita a publicaciones de descripción de la especie y revisiones de la familia Atherinopsidae (Sifuentes, 1992; Dyer, 2000 y Dyer, 2006); sin embargo, de la Hoz *et al.* (1996) recopilaron información de su biología e indica la posibilidad que exista una migración río arriba con fines reproductivos en algunas poblaciones del Perú, condición que Dyer (2000) sugiere para el río Loa en Chile. Por tanto, la laguna Mamacocha sería su refugio con fines reproductivos y de alimentación de esta especie que estaría migrando desde los ríos costeros (río Colca).

La Figura 9.13 se muestra los diferentes relieves de fondo de la laguna Mamacocha, desde zonas menos profundas con vegetación enraizada que sirve de refugio al pejerrey hasta mayores profundidades, en donde proliferan las algas, asimismo, se evidencia poca presencia de material suspendido en los diferentes estratos.

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

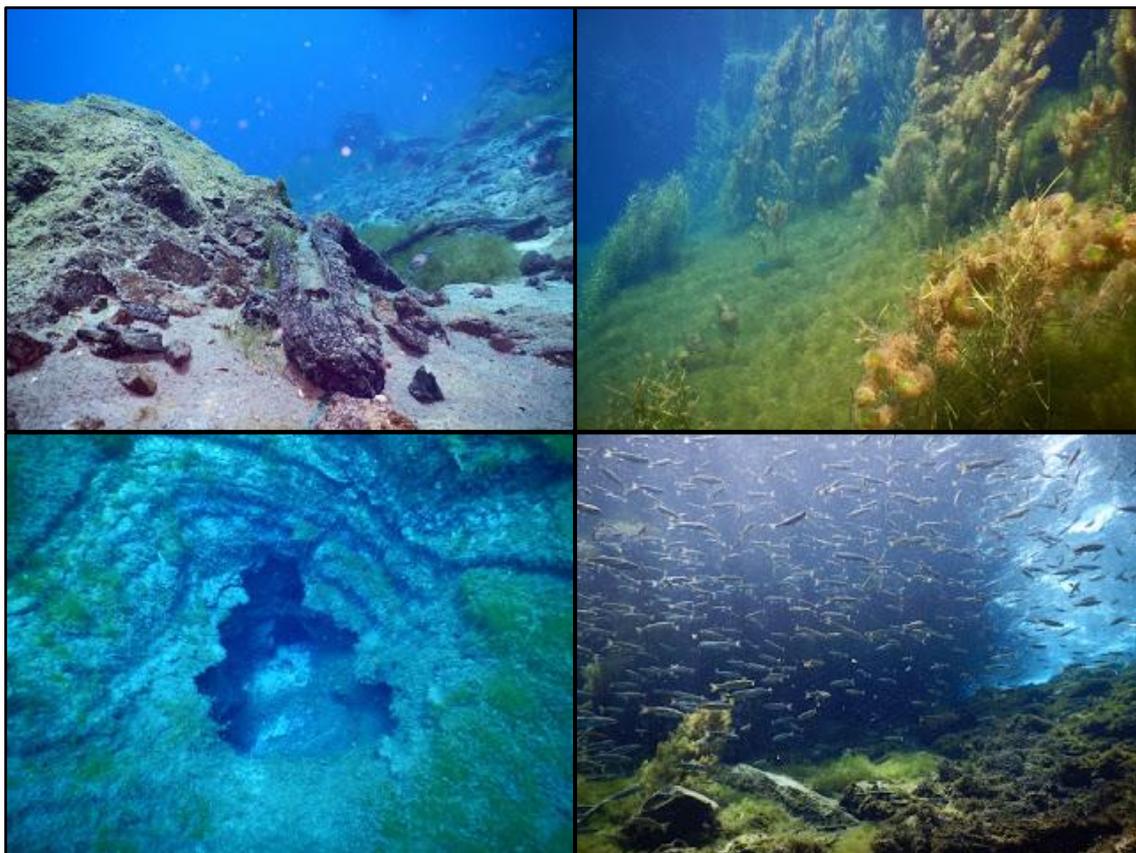


Figura 9.13. Diferentes relieves del fondo de la laguna Mamacocha

Fuente: <http://buceoenlacostasurdelperu.blogspot.com/2018/04/laguna-mamacocha.html>

La descarga de la laguna Mamacocha forma el río con el mismo nombre hasta la confluencia con el río Colca, en dicho tramo de aproximadamente 6 km, se evaluaron el canal de la microcentral Ayo (DMCA-1), el manantial sin nombre 1 (MSN-1) y puntos en el mismo río Mamacocha (RMam-2, RMam-3 y RMam-4)⁴⁷, cuyos parámetros evaluados no excedieron con los ECA para Agua 2017 categoría 1⁴⁸ y 3⁴⁹

La evaluación hidroquímica señalada en la Figura 9.14 indica que la facie bicarbonatada-sulfatada cálcica ($\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca}$) en octubre de 2018 con pH básico de 7,78 a 8,11 se mantuvo desde la descarga de la laguna Mamacocha (LMam-4) hasta 200 metros antes de la confluencia del río Mamacocha con el río Colca. Sin embargo, de acuerdo con el diagrama de Schoeller-Berkaloff se observa un pequeño incremento de los iones principales entre los cuales se destaca los sulfatos (SO_4) los bicarbonatos (HCO_3) y calcio (Ca) desde la descarga de la laguna hasta 200 metros antes de la confluencia con el río Colca (RMam-4). Este incremento se debería principalmente a la erosión del basamento sedimentario calcáreo y pelítico por la corriente de agua.

⁴⁷ Solo se evaluó en octubre 2018, puesto que en mayo 2019 no hubo acceso seguro.

⁴⁸ Los puntos evaluados en el río Mamacocha: RMam-2, RMam-3 y RMam-4 fueron comparados con la categoría 1: «Poblacional y Recreacional», subcategoría A2: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional, de los ECA para Agua, Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM, Según la Resolución Jefatural N.º 056-2018-ANA, «Clasificación de los Cuerpos de Agua Continentales Superficiales».

⁴⁹ Los puntos evaluados en el río Mamacocha: RMam-2, RMam-3 y RMam-4, también fueron comparados con la categoría 3: «Riego de vegetales y bebida de animales en la subcategoría D1: Riego de animales y D2: bebida de animales, de los ECA para Agua, Decreto Supremo N. 004-2017-MINAM.

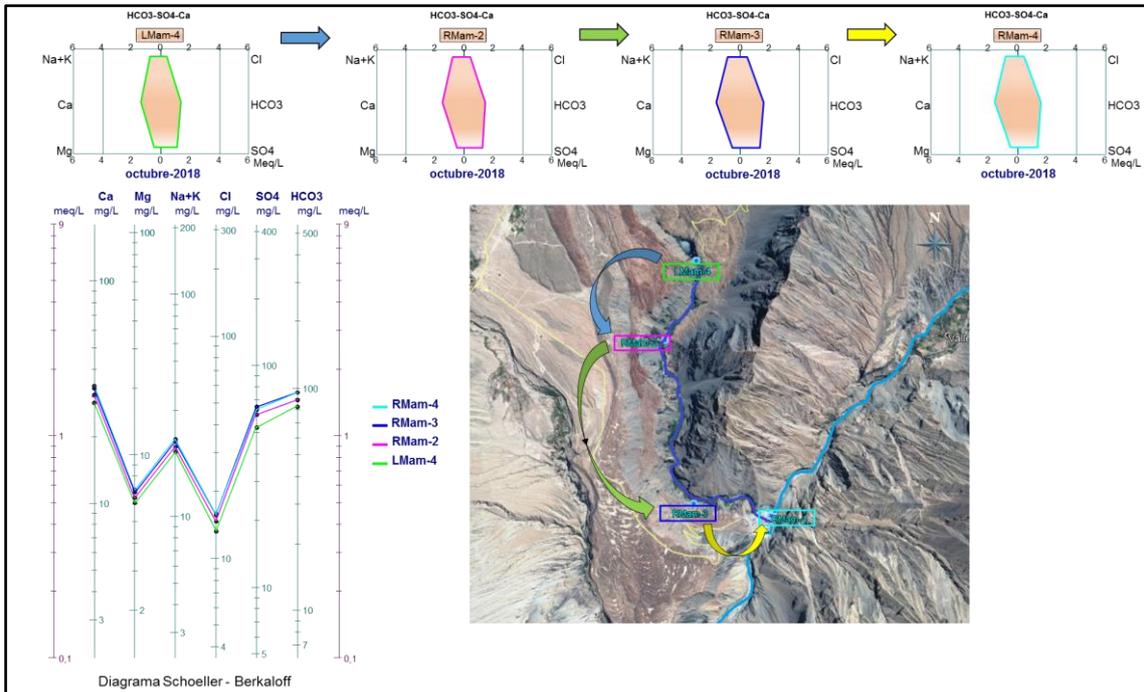
Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

Figura 9.14. Diferencia hidroquímica de la descarga de la laguna y río Mamacocho

La formación vegetal ribereña presente también en el río Mamacocho (Figura 9.15) impide un mayor efecto erosivo de las lluvias, que causa el transporte de partículas sólidas de depósitos aluviales y rocas andesíticas al cauce⁵⁰, lo que se ve reflejado en la baja concentración del material suspendido (5 mg/L en RMam-4 como registro máximo) y por ende el ligero incremento de metales en el agua, por lo que la laguna y río Mamacocho tuvieron el mismo comportamiento fisicoquímico en relación a los metales (relación disueltos y totales).

Asimismo, los aportes del manantial sin nombre 1 (MSN-1) y la descarga de la microcentral Ayo (DMCA-1) no generan cambios fisicoquímicos al río Mamacocho, debido a que presentan características fisicoquímicas similares; mismas facies hidroquímicas bicarbonatada sulfatada cálcica (HCO₃-SO₄-Ca) y las bajas concentraciones de metales y sólidos suspendidos totales (máximo registro de 2 mg/L). Asimismo, las relaciones total/disuelto de los metales son semejantes, a excepción de hierro en forma disuelta en el MSN-1 y fósforo en forma suspendida en el MSM-1 y DMCA-1 en octubre de 2018.

⁵⁰ El efecto de la erosión de la corriente del agua es más notable en la parte final del río Mamacocho, antes de su confluencia con el río Colca (RMam-4), en donde se registraron las más altas concentraciones de la descarga de la laguna y el río de las formas suspendidas de hierro, aluminio, manganeso, calcio y magnesio.

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

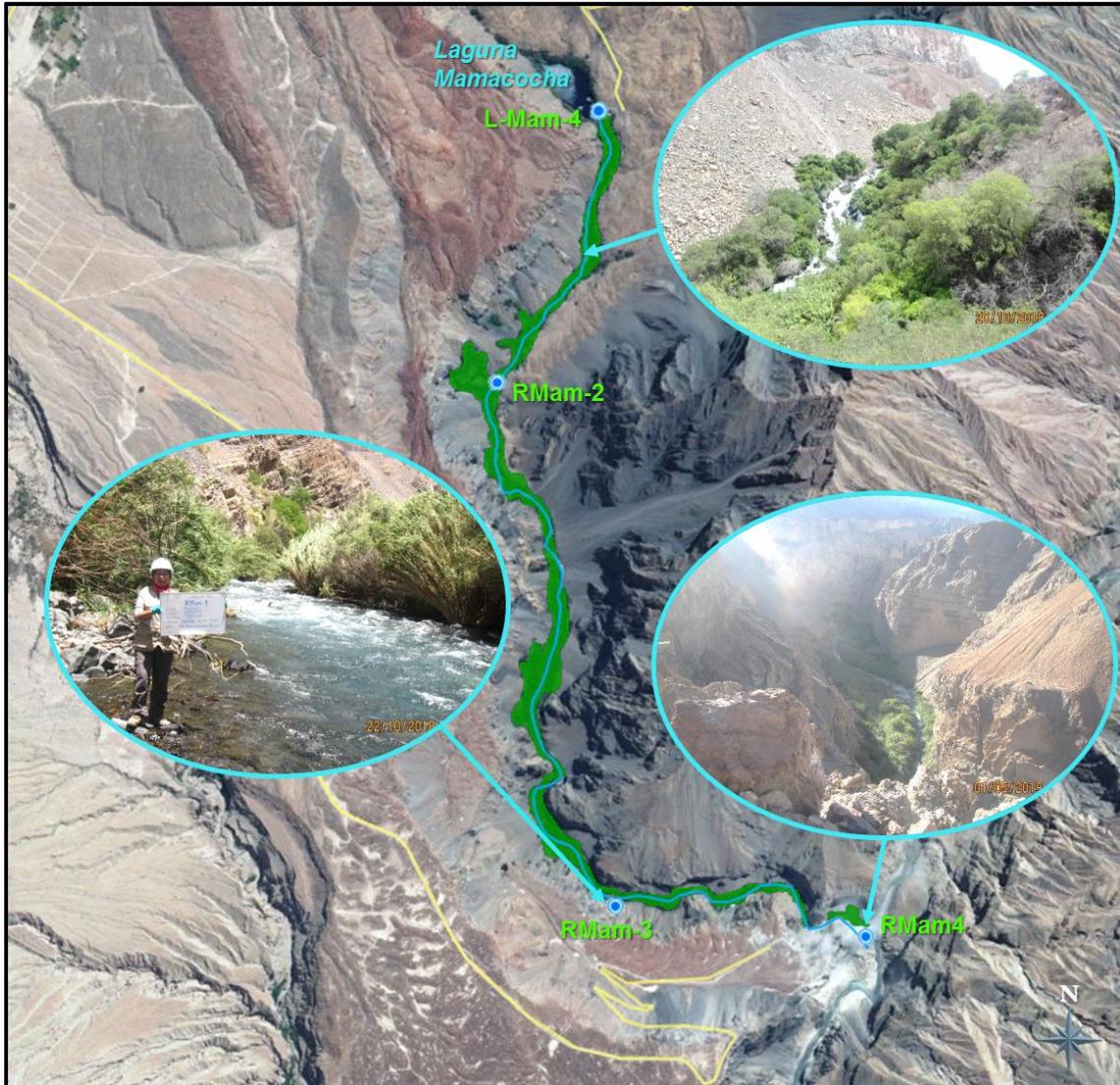


Figura 9.15. Formación vegetal ribereña del río Mamacocha

Adicionalmente, se evaluaron 2 puntos de muestreo al final de los canales de riego Ayo (CAAyo-1 y CAAyo-2). Los parámetros evaluados en ambos puntos cumplieron con los ECA para Agua 2017 categoría 3⁵¹. Respecto a la composición hidroquímica, estos puntos presentaron facies sulfatada cálcica (SO₄-Ca) y mayores concentraciones de metales: calcio, magnesio y estroncio en forma disuelta y sulfatos que los demás puntos evaluados, además de hierro y aluminio en forma suspendida – junto con el río Colca (RCol-1) y LCha-1 - relacionados a los suelos de uso agrícola anteriormente discutido.

La presencia de estos metales se debería a la interacción superficial del agua del canal con las rocas volcánicas andesíticas, andesitas basálticas (alto contenido de plagioclasas cálcicas y niveles sedimentarios calcáreos), limoarcillitas grises a negras con nódulos arenosos y óxido de hierro de la formación Puente del Ccotocahuana en la margen izquierda del canal y las

⁵¹ Los puntos evaluados del canal de riego Ayo: CAAyo-1 y CAAyo-2, también fueron comparados con la categoría 3: «Riego de vegetales y bebida de animales en la subcategoría D1: Riego de animales y D2: bebida de animales, de los ECA para Agua, Decreto Supremo N. 004-2017-MINAM.

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

formaciones Cachios y Labra ubicados en la margen derecha y nacimiento del río Ayo en el Cerro Oroscupio. Dicha interacción agua-roca fue confirmada con el diagrama de Gibbs.

Posterior al río Mamacocha, se evaluaron 2 puntos de muestreo en el río Colca antes de la confluencia (RCol-1) y después de la confluencia (RCol-2) con el río Mamacocha (Figura 9.16). Los parámetros evaluados en ambos puntos cumplieron con los ECA para Agua 2017 categoría 3⁵², a excepción del boro que excedió el estándar para la categoría 3 subcategoría D1 en octubre de 2018.



Figura 9.16. Confluencia del río Mamacocha con el río Colca en su margen derecha

De acuerdo a las evaluaciones realizadas por la Autoridad Nacional del Agua-ANA (Figura 9.17), las concentraciones de boro que excedieron los ECA para agua 2017 categoría 3, también fue registrado aguas arriba de RCol-1 (34 km aproximadamente, punto 134RCol3),

⁵² Los puntos evaluados en el río Mamacocha: RMam-2, RMam-3 y RMam-4, también fueron comparado con la categoría 3: «Riego de vegetales y bebida de animales en la subcategoría D1: Riego de animales y D2: bebida de animales, de los ECA para Agua, Decreto Supremo N. 004-2017-MINAM.

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

las cuales disminuyen hasta valores que no excedieron los citados ECA, aguas abajo de RCol-2 (35 km aproximadamente, punto 134RCol4).

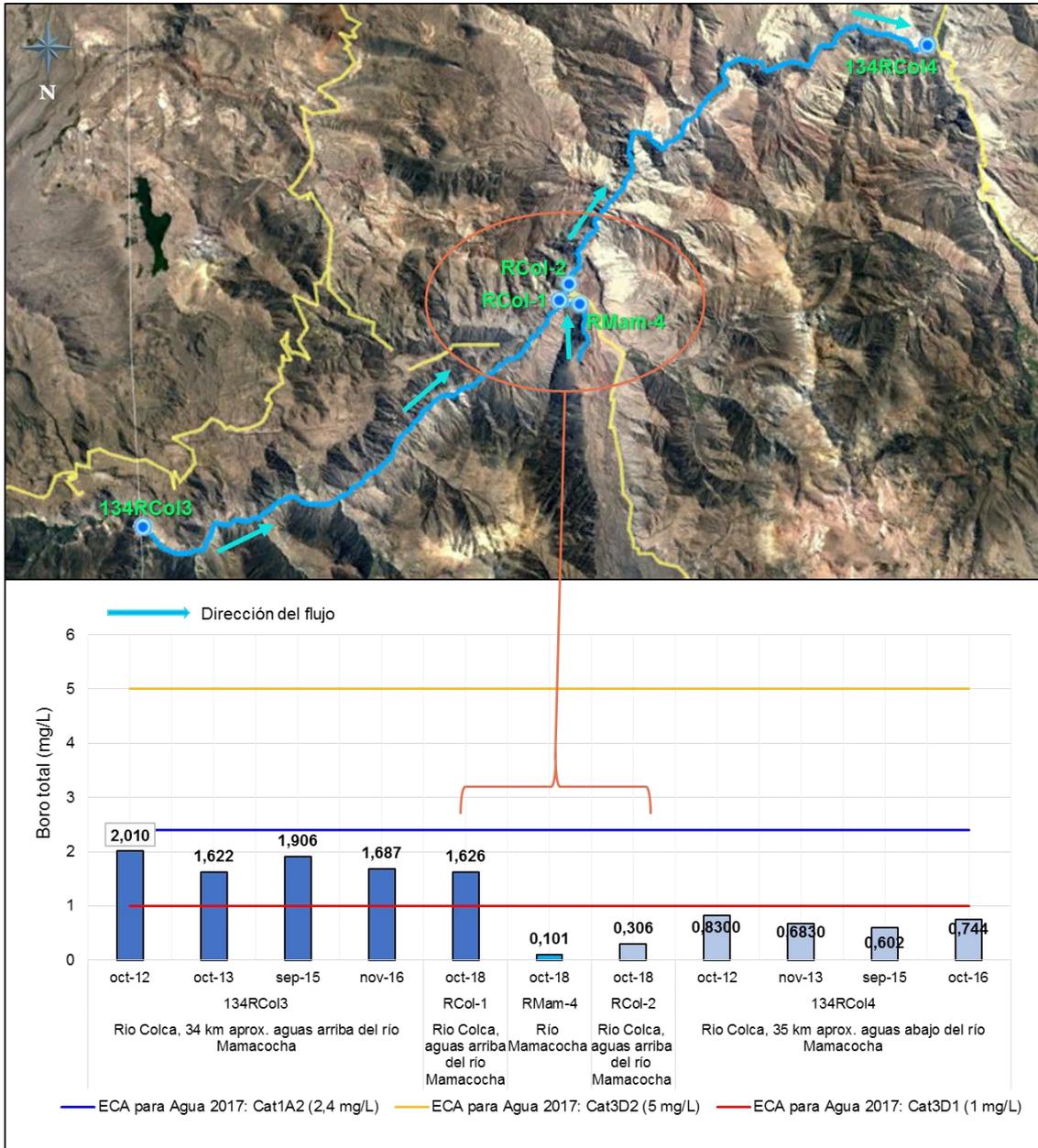


Figura 9.17. Concentración mensual de boro total en los ríos Colca y Mamacocha

Fuente: ANA-Colca (2012; 2013, 2015 y 2016)⁵³

Las altas concentraciones de boro, además de los metales sodio, potasio, litio, el metaloide arsénico y los cloruros – junto con los sulfatos, en 134RCol3 y RCol-1 están asociados a las fuentes hidrotermales⁵⁴ ubicadas principalmente en las márgenes del río Colca como los baños «El Inca», «Agua Fría», «La Calera», «Baños Chacampi-Yanque», «Puye», «Puyi» y

⁵³ Informes de monitoreos participativos en las cuencas Camaná-Majes Colca de la Autoridad Administrativa de Agua I Caplina Ocoña en el 2012 (Informe Técnico N° 015-2012-ANA-SDGRH/MPPC-JLFZ), 2013 (Informe Técnico N° 011-2014-ANA-AAA I CO-SDGRH/LFZ), 2015 (Informe Técnico N° 016-2016-ANA-AAA.CO-ALA-CM-AT/GFA) y 2016 (Informe Técnico N° 001-2017-ANA-AAA.CO-ALA-CM-AT/GFA).

⁵⁴ La influencia de zonas geotermales con diferente tectónica, litología y régimen hidrológico que ponen de manifiesto la relación de este elemento con los procesos termales (Morell, 2008).



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

«Paclla», y las cuales disminuyen por la poca o ausencia de dichas fuentes hidrotermales y confluencia con las quebradas y ríos de baja concentración de boro en 134RCol4⁵⁵, como el caso del río Mamacocha que reducen notablemente el boro y los metales (sodio, potasio y litio), metaloide (arsénico) y los aniones (cloruros y sulfatos) relacionados en RCol2.

El comportamiento del boro, asociados con los citados elementos (metales, metaloide y cloruros) y compuestos (sulfatos), en el río Colca, también se ha reportado en otras cuencas hidrográficas en donde se ubica parte de la cordillera occidental de los Andes en el sur del Perú, como el caso de la cuenca del río Maure en los distritos Ticaco y Tarata, provincia Tarata, departamento Tacna, donde se registraron fuentes termales con altas concentraciones de boro proveniente del campo geotermal de borateras en las pampas de Chillicolpa y Samuta (Ingemmet, 2012-Boletín 047), que originó que las concentraciones del citado metal en los meses más cercanos a octubre en el río Maure excedieran los ECA para agua 2008 categoría 3⁵⁶.

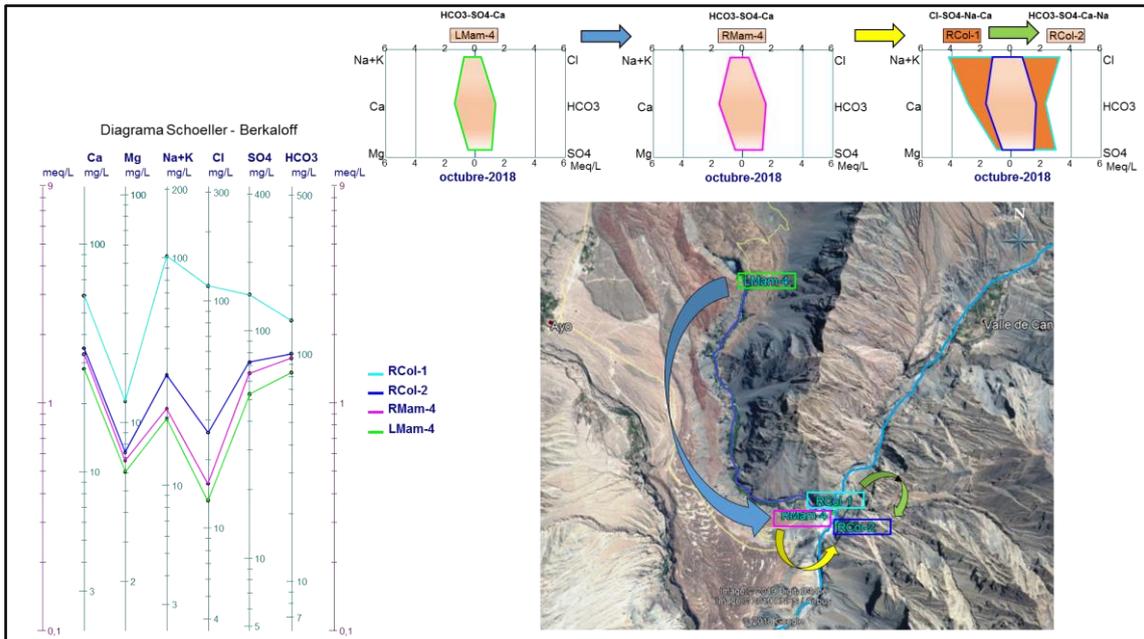
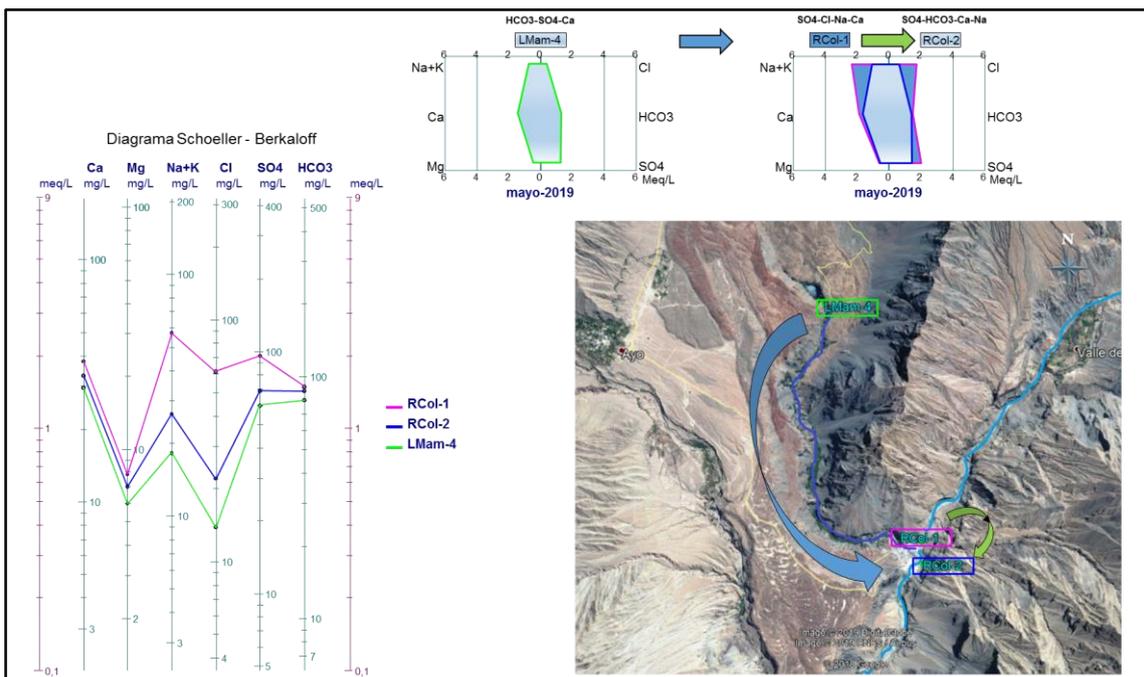
El río Mamacocha también influye en el cambio de las facies hidroquímicas del río Colca en octubre de 2018 y mayo de 2019 (tomando de referencia a la descarga de la Laguna Mamacocha⁵⁷) de acuerdo a lo indicado en las Figuras 9.18 y 9.19. De esa manera, la facie del río Colca cambia de clorurada-sulfatada sódica-cálcica (Cl-SO₄-Na-Ca) con pH 8,14 a bicarbonatada-sulfatada cálcica-sódica con pH 8,14 en octubre 2018 y de sulfatada-clorurada sódica-cálcica (SO₄-Cl-Na-Ca) con pH 8,16 a sulfatada-bicarbonatada cálcica-sódica (Cl-SO₄-Ca-Na) con pH de 7,88 en mayo 2019.

Las variaciones de los iones del río Colca (RCol-1 a RCol-2), en ambos años y a pH básico, ocasionada por el río Mamacocha (RMam-4) y su descarga de la laguna del mismo nombre (LMam-4) se observan a detalle en el diagrama de Schoeller-Berkaloff de la Figuras 9.18 y 9.19, en donde los cloruros y sodio-potasio, relacionados con la influencia de fuentes hidrotermales, registraron las mayores disminuciones.

⁵⁵ Geocatmin (1 de julio, 2019). Recuperado de <http://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/>.

⁵⁶ Informes de monitoreo participativo en la cuencas Maure, Uchusuma, Caplina e Intercuenca 13155 en el 2011 (Informe Técnico N°003-2012-PMGRH-CUENCA CAPLINA-TACNA/LCEQ), 2012 (Informe Técnico N°008-2012-PMGRH-CUENCA CAPLINA TACNA/CHL), 2013 (Informe Técnico N°008-2013-ANA-PMGRH-CUENCA CAPLINA LOCUMBA-TACNA/CHL) y 2014 (Informe Técnico N°010-2014-ANA-PMGRH CUENCA CAPLINA LOCUMBA-TACNA/CHL).

⁵⁷ La descarga de la laguna y del río Mamacocha tienen la misma facie hidroquímica HCO₃-SO₄-Ca en octubre de 2019, por lo que se toma dicho comportamiento para mayo 2019 debido a las características hidrogeomorfológicas del río antes descrita.

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad**Figura 9.18.** Caracterización hidroquímica de los ríos Mamacocha y Colca en octubre de 2018**Figura 9.19.** Caracterización hidroquímica de los ríos Mamacocha y Colca en mayo de 2019

Si bien hay diferencias de origen entre los ríos Mamacocha (descarga de la laguna del mismo nombre proveniente de una resurgencia) y Colca (aguas de mayor recorrido e influenciado por fuentes hidrotermales), estos cuerpos de agua superficial están en las mismas zonas de equilibrio de minerales secundarios de silicatos con sodio y potasio, de acuerdo al diagrama de Korjinski, relacionadas a la microclina (grupo de los tectosilicatos - KAlSi_3O_8) y pirofilita



(grupo de los filosilicatos - $\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$) debido a la mayor concentración de potasio y silicio con respecto a los demás puntos de muestreo⁵⁸.

Respecto a la evaluación de comunidades hidrobiológicas evaluadas en la quebrada Subna, río Mamacocha y río Colca mostraron índices N1 no mayores a 4 durante ambos períodos de evaluación e índices de Pileou (J') variables; el río Colca (RCol-2) mostró dominancia de la familia Chironomidae ($J' = 0,48$) en el 2018; mientras que, en la evaluación del 2019 se obtuvo un índice $J' = 1,0$. Esto es indicativo de la gran variabilidad que pueden mostrar los ambientes lóticos altoandinos, cuyas comunidades están sujetas a las reestructuraciones ecológicas estacionales dependientes de factores abióticos tales como tipo de sustrato, profundidad de la columna de agua, velocidad de la corriente y disponibilidad de materia orgánica (Frissel *et al.*, 1986; Hieber *et al.*, 2005).

La quebrada Subna (QSub-1) caracterizada por tener aguas sulfatadas cálcicas y las mayores concentraciones de metales pesados en forma disueltos asociados a zonas de alteración hidrotermal en la naciente de dicha quebrada mostró un cambio particular entre los muestreos realizados en el 2018 y 2019. Se observó que el macrobentos registró una variación en cuanto a su riqueza, abundancia y presencia de familias indicadoras; en la evaluación de 2018 se evidenció la presencia de grupos sensibles (familia Blephariceridae), facultativos (familia Baetidae) tolerantes (familias Dytiscidae y Chironomidae) (Domínguez y Fernández, 2009); mientras que, en la evaluación de 2019 solo se registró la familia Chironomidae, que se explicaría por la presencia de materia orgánica y siendo esta familia tolerante a estas condiciones (Acosta, 2009).

Esto podría deberse a un control «bottom-up» en la cadena trófica, debido a la disminución en abundancia del perifiton de 52000 a solo 3000 organismos por cm^2 . Esta drástica disminución estaría regulando de forma directa la abundancia de organismos del segundo nivel trófico (macroinvertebrados bentónicos), permitiendo que solo organismos altamente tolerantes y de estrategia, como la familia Chironomidae, puedan adaptarse a dichas condiciones. Al mismo tiempo, este cambio demuestra la relevancia de las relaciones tróficas para la salud del ecosistema; además, de la influencia de los parámetros fisicoquímicos (Vogel, 1996).

El orden Ephemeroptera fue el que obtuvo la mayor riqueza en todos los cuerpos lóticos (quebrada Subna, río Mamacocha y río Colca), mientras que, los órdenes Ephemeroptera y Diptera fueron los más abundantes. Dentro del primer orden encontramos a *Americabaetis sp.* y *Leptohyphes sp.* y en el caso de Diptera encontramos a organismos de la Subfamilia Chironominae y Subfamilia Tanypodinae, ambos corresponden a la familia Chironomidae. La dominancia de la familia Chironomidae puede estar asociada a las múltiples estrategias de alimentación según Merritt *et al.* (2008), si bien Roldán (1996) indica que estos organismos son considerados como indicadores de contaminación por materia orgánica, Terneus *et al.* (2012) refiere que dentro de esta familia «Chironomidae» existen varios géneros que se encuentran en aguas limpias con altas concentraciones de oxígeno.

9.2. Flora

Los estudios de flora nos permiten caracterizar y comprender mejor el medio ambiente y los ecosistemas donde se desarrollan los distintos grupos biológicos, como especies de aves, mamíferos, anfibios y reptiles, entre otros. A continuación, se presenta las discusiones sobre los hallazgos de flora obtenidos en el área de estudio.

⁵⁸ Con respecto al canal de riego Ayo y la descarga de la laguna y río Chachas, debido a la menor concentración de silicatos, están relacionadas a la caolinita (minerales del grupo de los filosilicatos - $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), mientras los demás puntos de muestreo están relacionados solamente a la pirofilita.

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

Esta evaluación permite tener un mejor conocimiento de la flora vascular presente en los ecosistemas y formaciones vegetales circundantes dentro del área de estudio, y así complementar la información generada en la región. En ese sentido, la evaluación de flora y fauna enfoca su evaluación en 3 zonas (zona-1, zona-2 y zona-3).

Es importante tener en cuenta que los suelos del área de estudio en las 3 zonas evaluadas y de sus formaciones vegetales presentan material residual volcánico, con suelos inmaduros del orden andisol, lo que permite que las formaciones vegetales registradas presenten un alto contenido de materia orgánica, pH de ácido a moderadamente ácido y elevada capacidad de intercambio catiónico efectivo (Cervantes, 1977; Alvarado *et al.*, 2001). En ese sentido, respecto a los valores del pH, uno de los inconvenientes ligados a valores inferiores a 5,5 son la solubilización de algunos elementos que causan toxicidad en los cultivos, como el aluminio, manganeso, hierro, entre otros; así como el efecto de deficiencia de algunos nutrimentos como el fósforo y boro que a pH bajos se tornan indisponibles (Henríquez y Cabalceta, 1999).

En las zonas de estudio se ha identificado la presencia de 2 formaciones vegetales (monte ribereño y vegetación de matorral desértico); además, la zona-1 abarca a la laguna Mamacochoa, considerada como un ecosistema frágil según la Ley General del Ambiente y sus modificatorias⁵⁹ (Figura 9.20).



Figura 9.20. a) Ecosistema frágil - laguna Mamacochoa, y formaciones vegetales identificadas en el área de estudio: b) matorral desértico y c) monte ribereño

⁵⁹ Ley N.º 29895, ley que modifica la Ley General del Ambiente N.º 28611 en su Artículo 99 sobre los Ecosistemas Frágiles.



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

Una de las variables para medir el estado ambiental de un determinado lugar es la riqueza de especies; por lo tanto, las 74 especies registradas representan información detallada de la riqueza en el área de estudio para la temporada evaluada (seca) respecto a las especies mencionadas en el informe técnico sustentatorio⁶⁰. Cabe mencionar que, la evaluación estuvo enfocada a las formaciones vegetales identificadas (monte ribereño y matorral desértico) que incluyen al ecosistema frágil «laguna Mamacocha». Dicha riqueza de especies muestra la amplia diversidad presente en el área de influencia del proyecto, debido a la presencia de microambientes heterogéneos en ellos.

En el inventariado de la diversidad biológica a menudo resulta imposible registrar la totalidad de las especies presentes en un área determinada (Jiménez-Valverde y Hortal, 2003). En ese sentido, los datos obtenidos en la evaluación (74 especies), respecto a lo estimado según el modelo exponencial (83 especies), representa el 79,1 % de la flora silvestre presente en el área de estudio (considerando la temporada evaluada), y la curva de acumulación de especies corrobora que el esfuerzo de muestreo realizado fue representativo.

Las familias más diversas en toda el área de estudio y en las diferentes formaciones vegetales fueron Asteraceae, Cactaceae y Poaceae, en general estas son las más diversas en ecosistemas altoandinos (Gentry, 1993), los que corrobora con los trabajos realizados por Galán de Mera (2009), Ferreyra (1960); Galán de Mera *et al.* (2002 y 2004); Dillon *et al.* (2007); además, Asteraceae y Poaceae son la segunda y quinta familia respectivamente, con mayor número de especies en el Perú (Brako y Zarucchi, 1993).

Se observa que la mayor riqueza de especies se encuentra en la vegetación de monte ribereño con 64 especies que representan el 72,97 % del total, uno de los factores que influye en la alta riqueza en esta formación, es la presencia de variados microhábitats que favorecen el desarrollo de una mayor diversidad de especies, las cuales incluyen especies higrófilas⁶¹; mientras que, la formación vegetal denominada matorral desértico presentó 16 especies.

La formación con mayor cobertura vegetal fue el monte ribereño (79,2 % para la zona-1 y 90 % para la zona-2), debido a que las especies que conforman estos ecosistemas incluyen diversos hábitos⁶²; además de especies arbóreas que incrementan su cobertura a causa del área basal y copa del árbol. Caso contrario, es la vegetación matorral desértico con una cobertura vegetal que varía entre 18,3 y 14 % debido a que en esta formación predomina la presencia de rocas y piedras, que disminuyen la cobertura vegetal.

Las especies con mayor abundancia relativa en toda el área de estudio son *Schinus molle* «molle» y *Ficus carica* «higo», que conforman principalmente el monte ribereño; entre otras están *Escallonia angustifolia*, *Salix humboldtiana* y *Sapindus saponaria*, todas ellas de hábito arbóreo; lo que destaca la importancia de esta formación como ecosistema que ayuda a preservar la flora local, actuando como especies sombrilla para las de hábito herbáceo. Se observa también que, existe una homogeneidad en la dominancia de especies en las formaciones vegetales, siendo las mismas especies dominantes propias de cada formación.

En el monte ribereño se observó que las especies con mayor abundancia relativa fueron en su mayoría árboles, seguida de *Arundo donax* y *Pennisetum clandestinum* (arbustiforme-gramíneas) y *Borhavia diffusa* (herbácea). En el matorral desértico las especies principales fueron las que pertenecen a la familia Cactaceae, entre ellas *Neoraimondia arequipensis*, *Opuntia ficus-indica*, *Cumulopuntia sphaerica*, *Browningia candelaris*, *Haageocereus*

⁶⁰ Informe Técnico Sustentatorio del proyecto «Central Hidroeléctrica Laguna Azul» para la modificación de sus componentes. Aprobado mediante Resolución de la Sub-Gerencia Regional N.º 163-2017-GRA/ARMA-SGCA, con fecha 27 de diciembre de 2017.

⁶¹ Especies que tienen un crecimiento óptimo en un ambiente húmedo.

⁶² En botánica, el porte, hábito o hábito de crecimiento de una planta hace referencia a su forma general, teniendo cuenta una variedad de aspectos, como la duración del tallo, el patrón de ramificación, el desarrollo, y la textura. La mayoría de las plantas puede ser catalogada como hierba, enredadera, liana, arbusto o árbol.

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

pluriflorus y *Weberbauerocereus rauhii* especies propias de estos ecosistemas en el sur del Perú como refiere Galán de Mera *et al.* (2002).

En la zona-1 se registraron un total de 38 especies agrupadas en 25 familias y 38 géneros, siendo las familias Poaceae y Cactaceae las que presentan mayor cantidad de especies. Las especies con mayor abundancia relativa fueron *Schinus molle* «molle» y *Ficus carica* «higo» de hábito arbóreo; y *Arundo donax* «carrizo», *Pennisetum clandestinum* «pasto» y *Lippia nodiflora* «turre hembra» de hábito herbáceo. Del total de especies en esta zona-1, las que se encuentran en algún estado de conservación son: *Browningia candelaris*, *Cumolopuntia sphaerica* y *Weberbauerocereus rauhii*, categorizadas como Casi Amenazadas (NT) según el Decreto Supremo N.º 043-2006-AG, Apéndice II de la lista CITES⁶³ (2017) y la especie *Weberbauerocereus rauhii* como Endémica para Perú (León, 2006) (Figura 9.21).

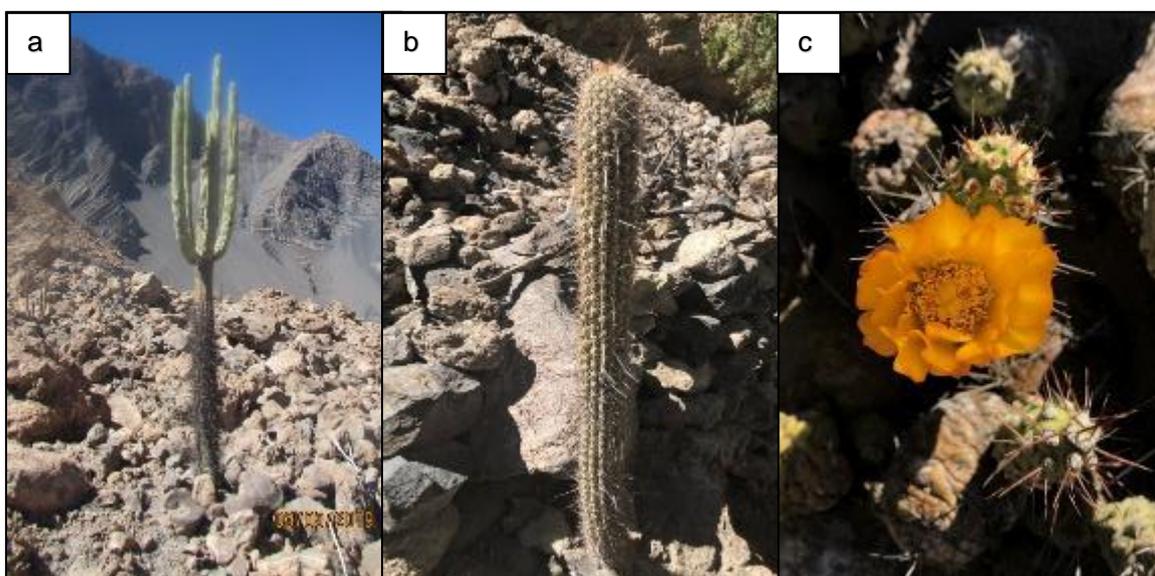


Figura 9.21. Especies en categorías de conservación a) *Browningia candelaris*, b) *Weberbauerocereus rauhii* c) *Cumolopuntia sphaerica*

En la zona-2 se registraron un total de 39 especies agrupadas en 25 familias y 37 géneros, siendo las familias Poaceae y Asteraceae las que presentan mayor cantidad. Las especies con mayor abundancia relativa fueron *Schinus molle* «molle» y *Citrus limon* «limón», principalmente por ser de hábito arbóreo, y *Arundo donax* «carrizo», *Pennisetum clandestinum* «pasto» y *Boerhavia diffusa* de hábito herbáceo. De la riqueza total en esta zona, las que se encuentran en algún estado de conservación son: *Browningia candelaris* y *Weberbauerocereus rauhii*, categorizadas como Casi Amenazadas (NT) según el Decreto Supremo N.º 043-2006-AG, Apéndice II de la lista CITES (2017) y la especie *Weberbauerocereus rauhii* como endémica para Perú (Figura 9.13).

La presencia de especies arbóreas en la formación vegetal monte ribereño, en ambas zonas, le agrega valor respecto a los servicios ecológicos y económicos que brinda, tal como refiere Lajo (2017) en su monografía sobre valoración económica del patrimonio geológico del valle de los volcanes en Andagua, principalmente haciendo referencia a los procesos ecológicos como base de la cadena alimenticia e interacciones con la fauna silvestre. Además del aprovechamiento de especies útiles (alimenticia, forrajera, como materia prima para construcción) por parte de la sociedad directamente involucrada «distrito de Ayo» como el higo, limón, molle, carrizo, entre otras especies.

⁶³ Las especies CITES son especies categorizadas debido a la excesiva explotación generada por el comercio internacional, estas especies se agrupan en los Apéndices según el grado de amenaza

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

En la zona-3 se registraron un total de 10 especies agrupadas en 8 familias y 9 géneros, siendo las familias Poaceae y Solanaceae las que presentan mayor cantidad de especies. Las especies con mayor abundancia relativa fueron *Arundo donax* «carrizo» y *Schinus molle* «molle», principalmente por ser de hábito arbustivo y arbóreo respectivamente; además de la especie *Ricinus comunis* «higuerilla», propia de zonas abiertas y considerada especie pionera. Del total de especies en esta zona-3, la que se encuentra en algún estado de conservación es: *Acacia macrantha* (Fabaceae), categorizada como Casi Amenazadas (NT) según el Decreto Supremo N.º 043-2006-AG (Figura 9.22).

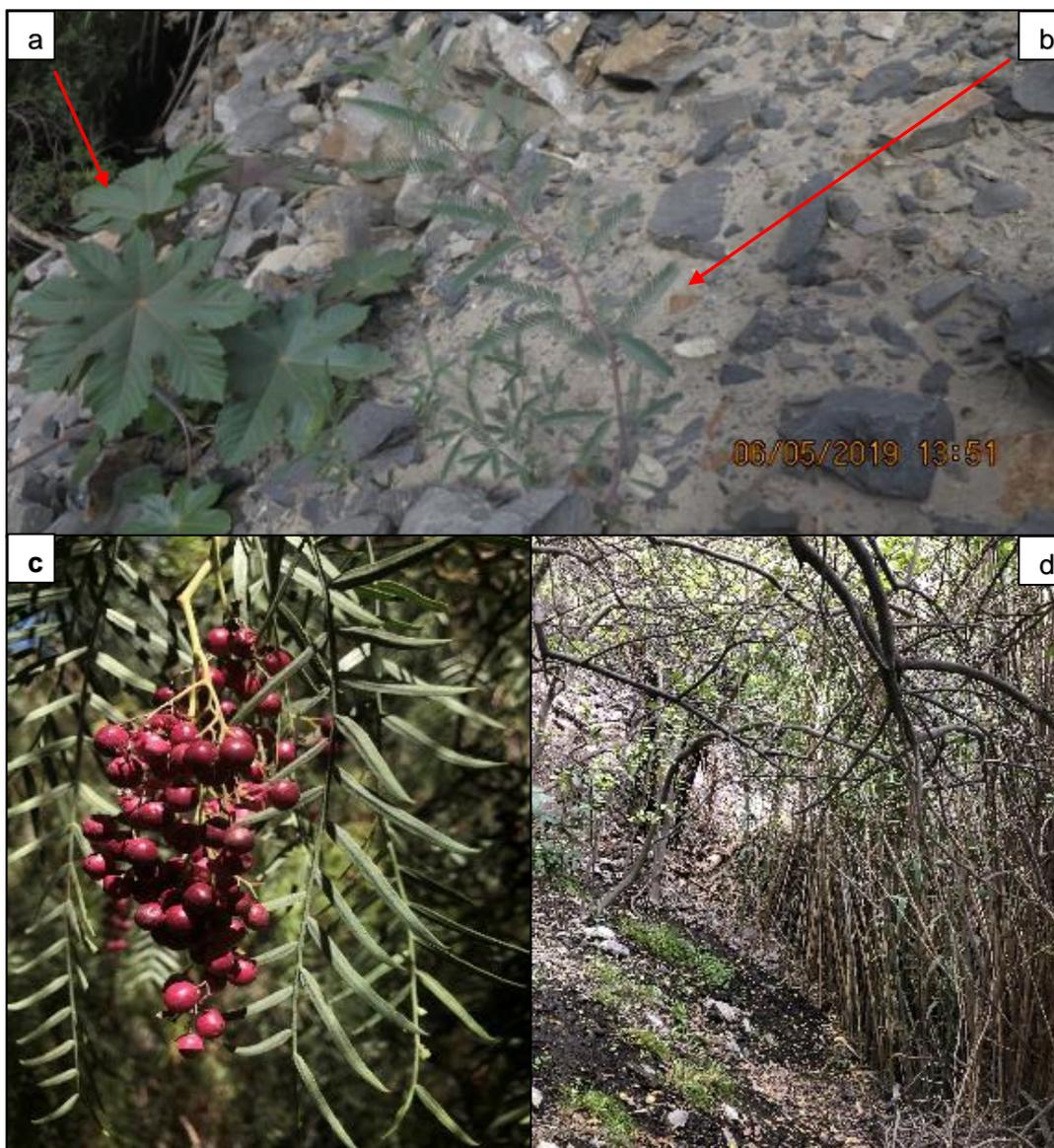


Figura 9.22. Especies con mayor abundancia relativa en la zona-3; a) *Ricinus comunis*, b) *Acacia macrantha* «Casi Amenazadas (NT) según el Decreto Supremo N.º 043-2006-AG», c) *Schinus molle* y d) *Arundo donax*.

9.3. Fauna

9.3.1 Anfibios y reptiles

Las evaluaciones realizadas estuvieron enfocadas en la determinación de las especies de anfibios y reptiles presentes en las inmediaciones de la laguna Mamacocha y a lo largo del río

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

del mismo nombre. Asimismo, se evaluaron los hábitats asociados a estas zonas de estudio y que son de importancia para la presencia de los anfibios y reptiles (monte ribereño y matorral desértico), tal como se observa en la Figura 9.23.



Figura 9.23. Zonas evaluadas en el área de influencia del proyecto Laguna Azul: a) laguna Mamacocho, b) río Mamacocho, c y d) hábitats asociados de matorral desértico con su vegetación característica, e) Zona de encuentro de los ríos Mamacocho y Colca, f) Vista panorámica de la zona de evaluación 3, al final del río Mamacocho

El área de estudio se encuentra ubicada en los andes tropicales del sur del Perú, una zona muy poco explorada y estudiada, a pesar de presentar un alto endemismo de especies de flora y fauna silvestre (Cano *et al.*, 1996; Zeballos *et al.*, 2002). La presencia de cuerpos de agua (lagunas y ríos) en ambientes áridos, como los evaluados en este estudio, otorgan un lugar de refugio y fuente de agua para muchas especies; asimismo, suministran servicios ecosistémicos beneficiosos para las poblaciones aledañas como es el caso del turismo.



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

Recientemente la laguna Mamacocha ha sido considerada por la Comunidad Andina como maravilla natural por su aporte ambiental y valor paisajístico⁶⁴

El departamento de Arequipa presenta una amplia diversidad de ecosistemas que varían desde el desierto costero, al nivel del mar, hasta los valles interandinos y puna en las zonas más elevadas; presentando una fauna particular adaptada a las diferentes condiciones ambientales de cada lugar (Zeballos *et al.*, 2001).

El estudio de los anfibios y reptiles presentes en esta zona sur del Perú ha sido muy bien documentado por diversos autores, resaltando los trabajos realizados por Péfaur *et al.* (1978) y Zeballos *et al.* (2002) quienes recopilan de manera ordenada la herpetofauna de Arequipa y sus distribuciones al sur del país, registrando un aproximado de 23 especies entre anfibios y reptiles.

Durante las evaluaciones se registraron 3 especies de reptiles: *Microlophus* sp. «lagartija», *Phyllodactylus gerrhopygus* «salamanqueja» y *Pseudalsophis elegans* «culebra de la costa» (Figura 9.24). Cabe resaltar que no se cuenta con un estudio anterior detallado de la herpetofauna en el área de estudio, salvo por recopilaciones bibliográficas de las probables especies presentes⁶⁵.

⁶⁴ Nuñez, M. (31 de mayo, 2019). Laguna de Mamacocha declarada maravilla natural de la Comunidad Andina. *La República*. Recuperada de <https://larepublica.pe/sociedad/1479677-laguna-mamacocha-declarada-maravilla-natural-comunidad-andina/>

⁶⁵ Informe Técnico Sustentatorio (ITS) para la Modificación de componentes del Proyecto «Central Hidroeléctrica Laguna Azul»-2017

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad



Figura 9.24. Especies de reptiles registrados en el área de estudio.

El número de especies registradas coincidió con la cantidad de especies esperadas mediante la aplicación del modelo exponencial negativo; de modo que, el esfuerzo de muestreo realizado fue representativo para el área de estudio; no obstante, se debe precisar que este modelo es recomendado para la evaluación de áreas con reducida extensión, donde todas las especies tienen altas probabilidades de ser registradas (Jiménez-Valverde y Hortal, 2003).

Zeballos *et al.* (2002) registraron 21 especies de reptiles en 5 de las 8 provincias del departamento de Arequipa, siendo las lagartijas de la familia Tropiduridae los representantes más abundantes con 10 especies, mientras que las familias Colubridae y Gekkonidae estuvieron conformadas por 5 y 2 especies respectivamente. Cabe señalar que la provincia de Castilla, lugar donde se desarrolla el proyecto Laguna Azul, no formó parte de este estudio; sin embargo, las especies registradas durante la presente evaluación se encuentran incluidas en el trabajo desarrollado por Zeballos *et al.* (2002), ampliando de este modo la distribución de estas especies en el departamento de Arequipa.

La lagartija *Microlophus* sp. presenta problemas taxonómicos que no permitieron su total identificación. Por un lado, sus patrones morfológicos (coloración, tamaño) similares a otra especie de la misma familia (*Microlophus tigris*), hicieron caer en el error de considerarlas de la misma especie (Villegas *et al.*, 2017). Sin embargo, se necesitan de análisis más exhaustivos para dilucidar su correcta ubicación taxonómica, ya que se podría tratar de una especie en proceso de hibridación o especiación (Jordán y Castro, 2010).



Respecto a los resultados obtenidos, *Microlophus sp.* fue la especie más abundante en toda el área de evaluación, siendo registrada principalmente sobre las rocas. Esta distribución extensa respondería a la amplia variedad de microhábitats que se presentan en el entorno; por un lado, el ecosistema de monte ribereño que circunda a la laguna Mamacocha, presenta árboles y arbustos adaptados a ambientes áridos, que proveen refugio para las especies ante sus posibles depredadores y como lugar de alimentación, gracias a su abundante vegetación. Asimismo, las laderas rocosas en la falda de los cerros a lo largo del río Mamacocha permiten una amplia distribución de estos individuos, de forma que puedan ocupar diferentes sectores de acuerdo a sus necesidades ecológicas.

Del mismo modo, la presencia de *Pseudalsophis elegans* «culebra de la costa» y *Phyllodactylus gerrhopygus* «salamanqueja» en los alrededores de la laguna Mamacocha resalta la importancia de este ecosistema para el mantenimiento de la biodiversidad en esta área natural; no obstante, la geografía agreste y de pendientes elevadas no permitieron una evaluación completa del río Mamacocha, restringiendo la evaluación a sectores de mayor aridez en las faldas de los cerros, donde predominan las especies de cactáceas distribuidas en áreas sin vegetación.

Respecto a las zonas de evaluación, la zona-1 presentó la mayor diversidad de especies en toda el área de estudio, la cual abarca la laguna Mamacocha y sus alrededores. La variedad de hábitats que se presentan en esta zona permitió una mayor distribución de los reptiles registrados, los cuales tienden a seleccionar ambientes adecuados para desarrollar sus actividades diarias de forma óptima (alimentación, reproducción, termorregulación, entre otras); siendo *Microlophus sp.* la especie más abundante durante las evaluaciones.

Por el contrario, la zona-2 abarcó la parte media del río Mamacocha, un área agreste y de poca vegetación, siendo las cactáceas las representantes más abundantes en toda el área; no obstante, las abundantes rocas presentes en esta zona, son utilizadas por la lagartija *Microlophus sp.* como lugar de termorregulación (mantenimiento de su temperatura interna) y de escape ante sus depredadores. Cabe resaltar que esta zona se vería directamente afectada ante los deslizamientos de las rocas provenientes de las partes altas, lo cual podría influir en la presencia y abundancia de las lagartijas registradas.

La pendiente pronunciada y poca accesibilidad a la zona-3, no permitió una mayor evaluación de esta área, lo cual influyó en el registro de las especies de reptiles presentes; no obstante, se observó microhábitats adecuados para su presencia. Por otro lado, los trabajos de construcción que se encuentran realizando en la zona (puente en la intersección de los ríos Mamacocha y Colca) podrían estar ocasionando el alejamiento de los reptiles de esta área, haciendo más complicado su registro.

Respecto al estado de conservación, el amplio rango de distribución y estabilidad en las poblaciones de *Pseudalsophis elegans* «culebra de la costa» y *Phyllodactylus gerrhopygus* «salamanqueja» respectivamente, permitieron su inclusión en la categoría de Preocupación Menor (IUCN, 2019); no obstante, se necesitan mayores estudios respecto a su ecología y vulnerabilidad para tener una mayor certeza de su estado en la actualidad. Por su parte, la falta de la correcta identificación de la lagartija *Microlophus sp.* no permitió su clasificación en alguna categoría de protección nacional o internacional; sin embargo, su probable distribución restringida a la zona sur de Perú, le concibe un alto grado de endemismo; las aplicaciones de estudios más detallados podrían ayudar en gran medida a su protección a futuro.

9.3.2 Aves

La estructura de la vegetación es quizá el factor más determinante en la composición de ornitofauna, tal como lo mencionan MacArthur y MacArthur (1961) y Morrison *et al.* (1995), la

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

complejidad de la vegetación dada por el arreglo horizontal y la estratificación vertical, afectará la abundancia y los tipos de aves presentes. En la evaluación realizada en el proyecto Laguna Azul se evaluaron 2 tipos de hábitat: el matorral desértico y el monte ribereño. El matorral desértico es el hábitat con mayor extensión de área, cuyas características han sido descritas en el capítulo de flora, en este hábitat se registraron 44 individuos pertenecientes a 7 especies, entre estas destacan *Pseudasthenes cactorum*, *Pygochelidon cyanoleuca*, *Aeronautes andecolus*, entre otras (Figura 9.25).



Figura 9.25. Vista panorámica del hábitat a) matorral desértico y b) monte ribereño.

El monte ribereño, cuyas características han sido descritas en el capítulo de flora, presentó 162 individuos pertenecientes a 19 especies, destacando especies como *Orochelidon andecola*, *Troglodytes aedon*, *Turdus chiguanco*, *Zonotrichia capensis*, *Rhodopsis vesper*, *Patagona gigas*, *Vultur gryphus*, entre otras (Figura 9.25).

La variación entre ambas formaciones, está más ligada a la estructura y composición de la vegetación que a la extensión del hábitat, pues el matorral desértico, en su mayoría corresponde a zonas desérticas con escasa o nula vegetación, mientras que, el monte ribereño, provee una vegetación que sirve para nidación, refugio y obtención de alimento necesarios para la sobrevivencia de las aves, convirtiéndose en una zona de importancia para la conservación de especies en el proyecto.



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

Uno de los problemas metodológicos en los estudios de biodiversidad, es la imposibilidad de registrar el total de especies durante un trabajo de muestreo (Gotelli y Colwell, 2001), en este sentido el análisis de las curvas de acumulación de especies es una aproximación adecuada para la valoración de calidad de los inventarios (Gray, 2002). Durante la evaluación realizada en el proyecto Laguna Azul, se registró 20 especies de aves mediante la aplicación de 12 búsquedas intensivas, este valor según el modelo exponencial negativo de la curva de acumulación, representó el 91,21 % del total de especies esperado (22 especies). Jiménez-Valverde y Hortal (2003) indican que a partir de proporciones superiores al 70 %, la estimación de la riqueza asintótica se hace estable. Debido a ello, podemos decir, que el muestreo realizado es altamente confiable y ha permitido obtener un inventario confiable de las aves presentes destacando especies como *Pseudasthenes cactorum* «canasteros de los cactus», especie endémica de Perú, especies como *Rhodopis vesper* «colibrí de Oasis» y *Patagona gigas* «colibrí gigante», especies polinizadoras; o especies de importancia como *Vultur gryphus* «cóndor andino», especie categorizada como En Peligro por la legislación peruana cuyo rol principal es ser carroñero; estos riqueza registrada nos indica que el área de estudio se encuentra en equilibrio.

La especie con mayor representatividad durante la evaluación realizada fue *Aeronautes andecolus* «vencejo andino» con 96 individuos, esta especie fue registrada tanto en el matorral desértico como en el monte ribereño de las zonas evaluadas. Fjeldsa y Krabbe (1990) manifiestan que *A. andecolus* es una especie de ambientes semiáridos, principalmente en laderas arbustivas predominadas por especies de la familia Fabaceae y Anacardiaceae; no obstante, también se le puede registrar en las zonas rocosas de áreas desérticas, donde predominan los cactus. Esta especie se desplaza en grupos a lo largo de laderas de montañas, mediante aleteos cortos y rápidos, a menudo vuelan alto a lo largo de muros de acantilados.

La importante abundancia y frecuencia registrada de *Aeronautes andecolus* en el área de estudio, posiblemente se deba a su capacidad de desplazamiento y su fácil adaptabilidad a los ecosistemas; esto último asociado a su tipo de dieta, la cual es netamente insectívora, logrando alimentarse al vuelo, de los insectos presentes en cada zona. Weller (1999) y Chudzińska *et al.* (2015) indican que una de las variables importantes en la distribución de las aves se relaciona con la disponibilidad y concentración temporal del alimento. Es por ello que la presencia de *A. andecolus* respondería a la presencia de un gran número de insectos, cuyas poblaciones son reguladas por esta especie, logrando de esta manera un equilibrio ecológico, que conlleva a su conservación (Figura 9.26).



Figura 9.26. Registro de la especie *Aeronautes andecolus* «vencejo andino»

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

En la evaluación realizada se ha logrado registrar 13 individuos de *Xenospingus concolor* «fringilo apizarrado» en el denominado valle de los Volcanes, en el distrito de Ayo, Arequipa. Gonzalez y Torres (2001) reportaron observaciones del *X. concolor* a lo largo de su distribución en los valles de la costa peruana. En los valles donde quedan fragmentos de monte ribereño, las poblaciones fueron escasas, solamente en Ocucaje, Yauca y Tambo fueron lugares en donde esta especie mantiene una población significativa en el Perú. Además, no se han registrado poblaciones en los valles donde la vegetación original ha sido prácticamente eliminada, por lo que su registro indica que esta zona aún conserva la vegetación original (monte ribereño) lo cual ha permitido la presencia de esta especie. Su registro ha permitido incrementar la información acerca de su distribución (Figura 9.27).



Figura 9.27. Registro de la especie *Xenospingus concolor* «fringilo apizarrado»

Durante la evaluación realizada se ha registrado un individuo de *Nycticorax nycticorax* «esquivo martinete o huaco común» en la laguna Mamacocha, por lo que su presencia indicaría que la laguna y la vegetación que lo rodea, es un ecosistema bien conservado, lo cual se ve reflejado en la diversidad de aves que alberga, así como la flora y fauna restante. El *N. nycticorax* es una garza de hábitos nocturnos, que inicia su actividad cuando el resto de los componentes de las ruidosas garceras en las que cría se retiran a descansar. Es entonces cuando esta ave de bello plumaje se dirige hacia sus cazaderos habituales, donde captura peces, anfibios y grandes invertebrados acuáticos, está muy ligada a la existencia de riberas bien conservadas y de humedales con abundante vegetación palustre (Semis, 2015).

Se registró además al *Pseudasthenes cactorum* «canastero de los cactus» que según Núñez y Tiravanti (2010) es una especie endémica del Perú que habita en las comunidades de cactáceas columnares en quebradas pedregosas de las laderas bajas de los Andes occidentales (entre los 100 m s.n.m. y 2400 m s.n.m.). Comúnmente es llamado «canastero de los cactus» por construir sus nidos entre las ramificaciones de las cactáceas columnares. La importancia de este registro radica en primer lugar porque es una especie endémica del Perú, específicamente de estos ecosistemas y, en segundo lugar, porque es un agente dispersor de semillas, siendo esta una de las 9 especies de aves que en el Perú hacen uso de las cactáceas, permitiendo de esta forma preservar a las diferentes especies de cactáceas columnares.

Respecto a las zonas evaluadas, la diversidad de aves registradas en la zona-1 fue la de mayor representatividad en toda el área de estudio, esto se debe a que las aves muestran una estrecha relación con las características estructurales y florísticas de la vegetación

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

cuando seleccionan el hábitat donde residir. Numerosos estudios han demostrado que la estructura física de la vegetación y la composición florística son 2 componentes del hábitat que influyen marcadamente en la composición y la abundancia de los ensambles de las aves, en gran medida por su asociación con recursos críticos (como el alimento y los sitios de nidificación) y con la protección contra climas adversos, la predación o el parasitismo de las nidadas (Cody, 1985).

En la zona-1, el matorral desértico está conformado por zonas de roquedal de diversos tamaños, con geografía accidentada y presencia de algunos árboles y de cactus (Figura 9.28). En esta zona se han registrado 32 individuos pertenecientes a 6 especies, destacando especies como *Zonotrichia capensis*, *Turdus chiguanco*, *Pseudasthenes cactorum*, *Xenospingus concolor*, entre otras. Las especies mencionadas hacen uso del roquedal para alimentarse o protegerse, por lo cual esta zona es un área de importancia para las aves.



Figura 9.28. Vista panorámica del hábitat matorral desértico de la zona-1

El monte ribereño, es el hábitat conformado por diversas especies arbóreas y arbustivas que rodean la laguna Mamacochoa, dominadas por especies como *Schinus molle* «molle», *Ficus carica* «higo» y *Arundo donax* «carrizo», así como diferentes especies de la familia Asteraceae. Este hábitat albergó 14 especies de aves, destacando especies como *Elaenia albiceps*, *Patagona gigas*, *Nycticorax nycticorax*, *Streptoprocne zonaris*, *Turdus chiguanco*, *Rhodopis vesper*, entre otras, logrando ser el hábitat con la mayor diversidad reportada, producto de esa mixtura de ecosistemas (laguna y monte ribereño), tal como se observa en la Figura 9.29.

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

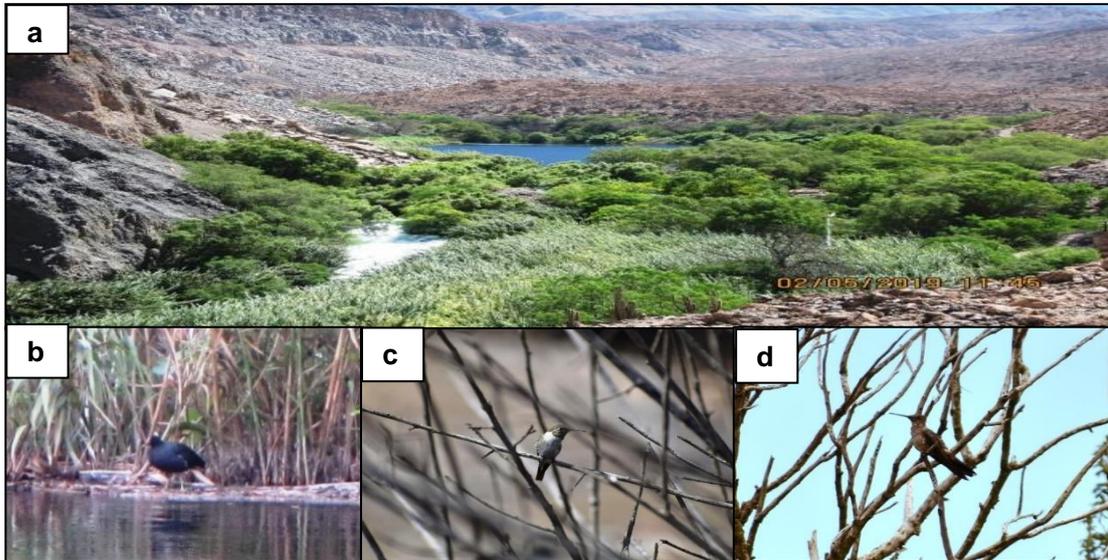


Figura 9.29. Especies registradas en el hábitat monte ribereño de la zona-2 a) vista panorámica del hábitat monte ribereño, b) *Gallinula galeata* «polla de agua común», c) *Rhodopsis vesper* «colibrí del oasis», d) *Patagona gigas* «colibrí gigante»

En la zona-2 se han registrado 29 individuos pertenecientes a 10 especies. El hábitat matorral desértico, fue el hábitat con mayor extensión de área, registrando un total de 12 individuos pertenecientes a 4 especies, destacando *Aeronautes andecolus*, *Pygochelidon cyanoleuca*, *Pseudasthenes cactorum* y *Zenaida auriculata*, especies propias de zonas desérticas, con poca vegetación (Figura 9.30).

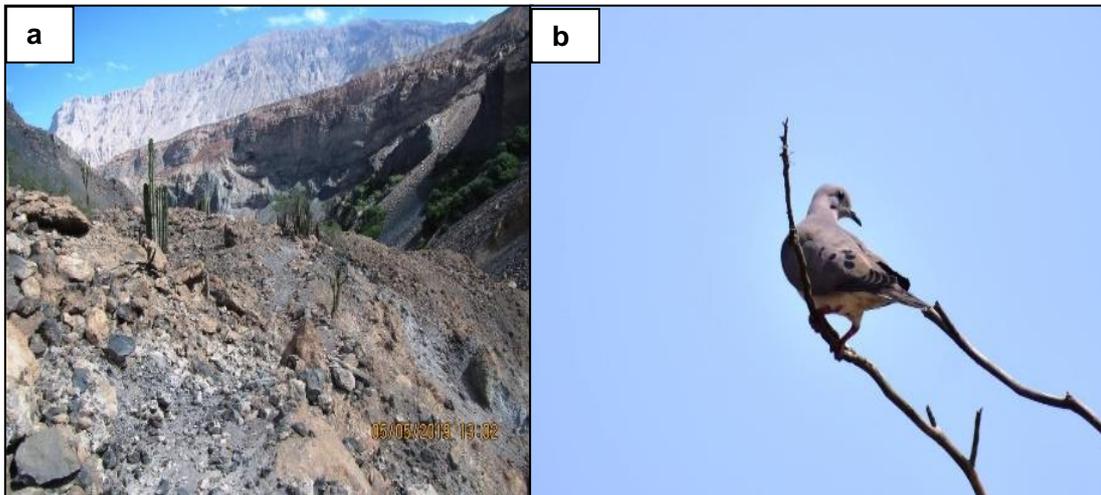


Figura 9.30. Especies registradas en hábitat matorral desértico de la zona-2 a) vista panorámica del matorral desértico, b) *Zenaida auriculata* «tórtola orejuda»

El hábitat monte ribereño, conformada por la vegetación que se encuentra al borde del río Mamacochoa, registro un total de 17 individuos pertenecientes a 8 especies, destacando especies como *Troglodytes aedon*, *Zonotrichia capensis*, *Camptostoma obsoletum*, *Xenospingus concolor*, entre otras. A pesar de evaluar la vegetación desde la parte alta, debido a la dificultad del acceso hasta el borde de la quebrada producto de la geografía accidentada, la diversidad registrada es importante, evidenciando una población en equilibrio, donde cada especie cumple una función vital para la conservación del ecosistema (Figura 9.31).

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

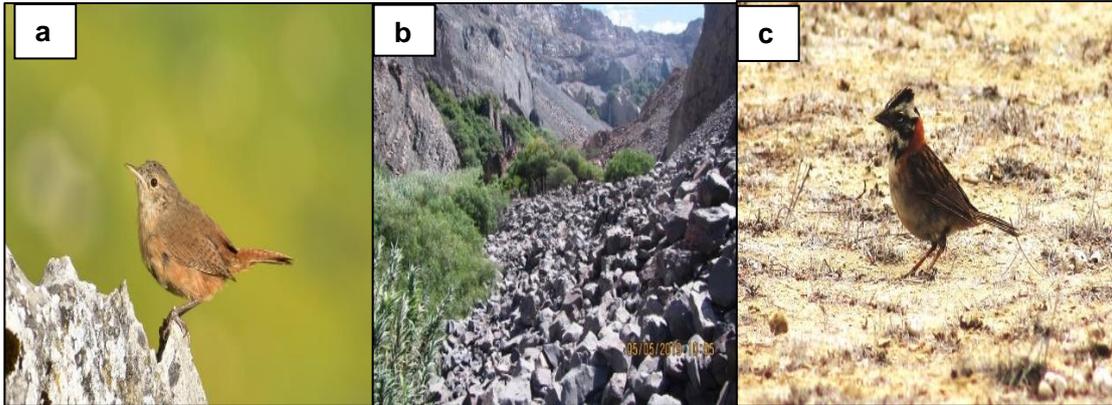


Figura 9.31. Especies registradas en el hábitat monte ribereño de la zona-2

a) *Troglodytes aedon* «cucarachero común», b) Vista panorámica del monte ribereño, c) *Zonotrichia capensis* «gorrión de capucha gris»

La zona-3 es una zona conformada al inicio por laderas montañosas de pendiente moderada y en la parte final, por bordes rocosos de difícil acceso y de pendiente elevada. En esta zona el hábitat predominante fue el monte ribereño. En total se registraron 6 individuos pertenecientes a 3 especies, estas son *Vultur gryphus* «cóndor andino», *Geranoaetus melanoleucus* «aguilucho de pecho negro» y *Orochelidon andecola* «golondrina andina». Blanco (1999) y Weller (1999) mencionan que la distribución y uso del hábitat por parte de las aves está asociado a características ambientales locales y a requerimientos particulares de cada especie. La zona-3 al tener una geografía accidentada y escasa vegetación no permite una mayor diversidad de aves, solo especies de gran desplazamiento y capacidad de vuelo como el cóndor andino, aguilucho o golondrina, que pueden utilizar esta zona como vía de desplazamiento hacia otras zonas donde encuentran alimento y refugio (Figura 9.32).

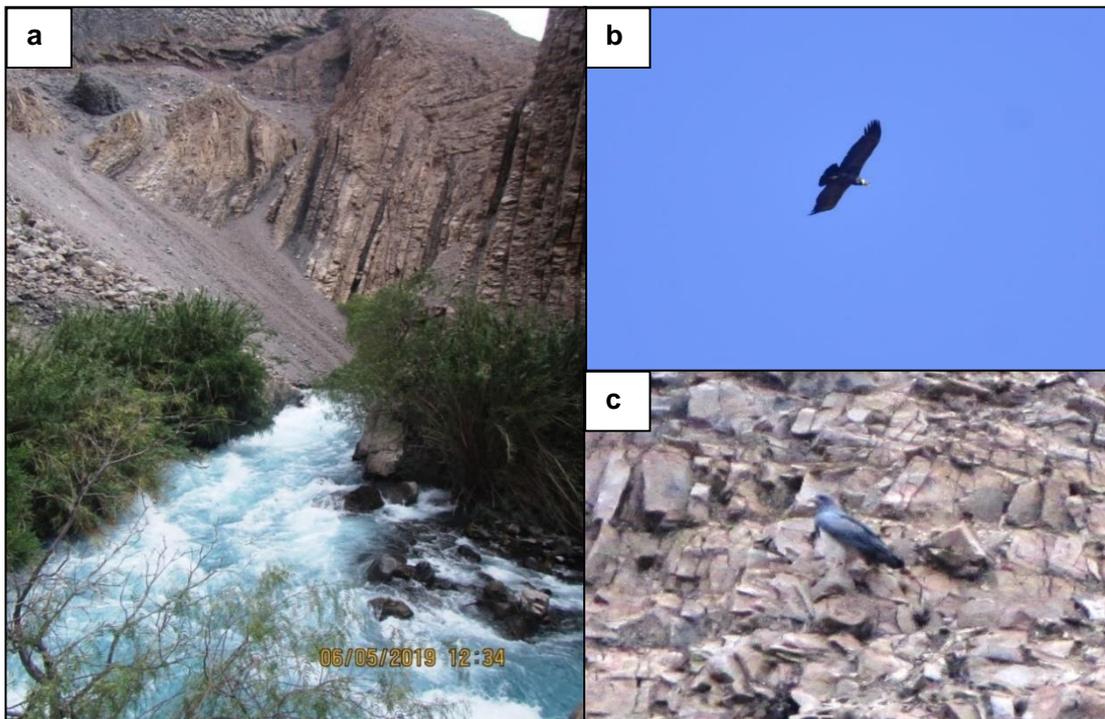


Figura 9.32. Especies registradas en el hábitat monte ribereño de la zona-2

a) Vista panorámica del monte ribereño de la zona-3, b) *Vultur gryphus* «cóndor andino», y c) *Geranoaetus melanoleucus* «aguilucho de pecho negro»



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

Las redes niebla son un sistema que se utiliza para atrapar a los animales que vuelan, este método sirve para completar el inventario de aves en una zona de estudio (Franke *et al.*, 2014). Durante la evaluación se logró instalar un total de 3 redes niebla, lográndose capturar 1 individuo perteneciente a la especie *Xenospingus concolor* «fringilo apizarrado». Esta mínima tasa de captura se debería a la poca presencia de zonas aptas para la colocación de redes niebla (las cuales generalmente se colocan en rutas de ingreso de las aves a la franja arbórea y arbustiva, bordes de quebradas, entre otras), debido a lo accidentado de la geografía (roquedales, acantilados de pendientes elevadas) del área de estudio, esto unido a la asidua visita de personas a la laguna Mamacocha, influenciaron en el muestreo de aves por redes niebla, ocasionando que solo se logre capturar 1 individuo.

Durante la evaluación se registró 5 especies en la lista CITES (2017): *Vultur gryphus* «condor andino» registrada en el Apéndice I y las otras 4 especies en el Apéndice II, estas especies fueron: *Geranoaetus melanoleucus* «aguilucho de pecho negro» de la familia Accipitridae, *Falco sparverius* «cernícalo americano» de la familia Falconidae y dos picaflores, *Rhodopis vesper* «colibrí de Oasis» y *Patagona gigas* «colibrí gigante», ambos grupos (rapaces y picaflores) cumplen funciones importantes en el ecosistema. Los picaflores (familia Trochilidae) cumplen la función de ser agentes polinizadores, mientras que las rapaces son carnívoros ubicados en lo alto de la cadena alimenticia, cumpliendo una función reguladora con el objetivo de mantener el recambio poblacional de las especies. Los registros de estas especies en el área de estudio fueron importantes porque permiten el equilibrio ecosistémico.

9.3.3 Mamíferos

En el área de estudio se registró un total de 5 especies de mamíferos silvestres, mediante el método de recorridos por transectos (2 especies registradas) y por medio de registros fotográficos con cámaras trampa (3 especies registradas), además de 3 especies registradas por medio de registros oportunos o casuales. Esta información fue obtenida mediante el método de recorridos y entrevistas. El esfuerzo de muestreo realizado fue de 4 transectos o recorridos, abarcando un total de 5,3 km en un tiempo de 9 horas y 56 minutos, considerando que la razón del recorrido es de 1,0 a 1,5 km/hora (Peres, 1999; Wallace, 1999). Esta evaluación se desarrolló en las 3 zonas descritas anteriormente.

En referencia al estudio realizado para Arequipa, en la lista anotada de mamíferos basada en revisión de literatura especializada, registros de campo de los autores y principalmente en revisión de especímenes de las colecciones del Museo de Historia Natural de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa (MUSA) y del Museo de Historia Natural de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (MUSM), se tiene 18 especies de mamíferos terrestres incluyendo a la ya extinta chinchilla (Zeballos *et al.*, 2001); sin embargo, las especies andinas como *Hippocamelus antisensis* «taruca», *Conepatus chinga* «zorrino», *Vicugna vicugna* «vicuña», *Leopardus jacobitus* «gato andino» no se distribuyen altitudinalmente en el área de estudio.

Otra información comparativa con este estudio puede incluir las 7 especies reportadas por Ingemmet (2016) en su boletín N° 6, Valle de los volcanes de Andahua, el cual incluye a la especie *Lontra felina* «nutria o huallaque».

En la zona-1 se logró registrar por medio de percepción de olores a la especie *Lontra felina* «nutria o huallaque» y al *Lycalopex culpaeus* «zorro», mediante evidencia de heces durante los recorridos realizados; el esfuerzo realizado fue de 2 recorridos de 1 km cada uno y una inversión de tiempo de 3 horas con 50 minutos. En la zona-2 por medio de heces se registró la presencia de *L. culpaeus*; mientras que, en la zona-3 por observación directa se registró a *Lontra felina* «nutria o huallaque», además de *Lycalopex culpaeus* por medio de huellas.

Las cámaras trampa son una herramienta muy útil para el muestreo y monitoreo de poblaciones de especies raras o de difícil observación, debido a que permiten ampliar



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

nuestras observaciones de las especies en el tiempo y el espacio sin interferir con su conducta (Lynam, 2002; Karanth y Nichols, 2002; Karanth *et al.*, 2004; Silver, 2004; Kays y Slauson, 2008). Mediante el método de muestreo por cámaras trampa, cuyo esfuerzo total fue de 379 trampas-noche por un periodo de 37 a 39 días se ha logrado el registro de 3 especies, 2 de las cuales enriquecieron la lista de especies registradas por medio de recorridos como el *Leopardus colocolo* «gato de pajonal» considerada como una especie rara y de difícil observación y *Lagidium viscacia* «vizcacha». Además, se obtuvo un registro ocasional de *Lepus europaeus* «liebre» (Figura 9.33).

La curva de acumulación de especies registradas por el método de recorridos nos indicó que el esfuerzo de muestreo realizado permitió el registro total de las especies potencialmente presentes en el área de estudio (2), mencionando que la evaluación sólo se limitó al entorno de la laguna Mamacocha, bordes del curso del río Mamacocha y zona de la confluencia con el río Colca. Sin embargo, el método de registros con cámaras trampa que difiere con el método de recorridos incrementaron la riqueza a 4 especies y a 5 en total para el área de estudio obtenido de forma ocasional.

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad



Figura 9.33. Especies identificadas a) Huella de *Lycalopex culpaeus* «zorro», b) *Lycalopex culpaeus* «zorro», c) *Leopardus colocolo* «gato de pajonal», d) *Lagidium viscacia* «vizcacha», y e) Huella de *Lontra felina* «nutria o huallaque»

En la zona-1 se realizaron 2 transectos (LA-Ma1 y LA-Ma2) con una distancia total aproximada de 1 km cada uno y una inversión de tiempo de 3 horas con 50 minutos, con este esfuerzo se logró registrar 2 especies del orden Carnivora: *Lycalopex culpaeus* «zorro» mediante heces y *Lontra felina* «nutria o huallaque» por medio emanaciones odoríferas. Actualmente, la afluencia de visitantes a la laguna con fines turísticos, posiblemente este influenciando en la presencia de la nutria en dicha laguna debido a que, en general son animales solitarios, de aspecto tímido y escurridizo (Cabello, 1978), encontrándose en esta ocasión entre la confluencia entre el río Mamacocha y el río Colca.

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

Otro registro de importancia que se obtuvo por medio de cámaras trampa (LA-CT1 y LA-CT3) fue el de *Leopardus colocolo* «gato de pajonal» considerada como una especie generalista, esto posiblemente este asociado a su amplia distribución biogeográfica (Redford y Eisenberg 1992; Nowell y Jackson, 1996) distribuyéndose desde los 100 m s. n. m. en la provincia de Zarumilla, Tumbes (Grimwood, 1969) hasta 4982 m s. n. m., en Ancash (Cossios *et al.*, 2007). Aunque esta especie es considerada como generalista es difícil obtener avistamientos de esta, la cual habita por lo general en cuevas o en formaciones rocosas, alimentándose principalmente de roedores grandes como la vizcacha y pequeños roedores cricetinos (Pearson, 1951; Romo, 1995), por lo que su presencia indica la disposición de alimento en la laguna Mamacochoa (Figura 9.34) la cual puede albergar diversas comunidades de ratones y aves, elementos que conforman su dieta.



Figura 9.34. Vista panorámica de la Laguna Mamacochoa, zona-1

La evaluación de mamíferos en la zona-2 comprendió los alrededores del borde de la parte media del río Mamacochoa, colindante a la zona-1 (Figura 9.35), donde se realizó el recorrido de 1 transecto (LA-Ma3) con un promedio de 2,30 km en un tiempo de 3 horas y 45 minutos, registrándose a la especie *Lycalopex culpaeus* «zorro» por medio del registro de sus heces.



Figura 9.35. Vista panorámica de la zona-2

En un estudio realizado en el matorral desértico de Arequipa se determinó que *Lycalopex culpaeus* «zorro» frecuenta las laderas pedregosas medias y bajas de los cerros en busca de alimento y refugio, pero además utiliza el cauce seco arenoso, el cauce pedregoso, las laderas altas con cactáceas y las laderas de greda (Chávez, 2007). Las características del área de

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

estudio concuerdan con lo mencionado anteriormente. Asimismo, Redford y Eisenberg (1992) y Romo (1995) indican que la alimentación del zorro es generalista (omnívoro) y de hábitos alimentarios oportunistas, pues puede cambiar dichos hábitos dependiendo de la disponibilidad de presas presentes en su rango de distribución y de los efectos de la estacionalidad, esto comprende un motivo más que determina su presencia en la zona-2, cuya extensión fue mayor en comparación con las zona-1 y zona-3.

La evaluación en la zona-3 (Figura 9.36) se registraron 2 especies de mamíferos mediante el recorrido realizado en el transecto LA-Ma4, estas especies son *Lycalopex culpaeus* «zorro» y *Lontra felina* «nutria o huallaque», este transecto tuvo una distancia promedio de 1 km con una inversión de tiempo de 2 horas con 21 minutos. Esta zona presentó una mayor diversidad con respecto a la zona-1 y zona-2, en donde la riqueza estuvo conformada por 2 especies, con una abundancia de 9 individuos; además, se suma la presencia de la especie *Lagidium viscacia* «vizcacha», especie propia de zonas de roquedales, registrada mediante cámaras trampa específicamente en LA-CT10.

Es importante mencionar que actualmente la especie *Lontra felina* «nutria o huallaque» está cumpliendo un rol muy importante en esta zona de estudio, ya que es considerada como especie «bandera»⁶⁶ por la población local e indicadora del buen estado de conservación de determinados cuerpos de agua, consideración que trajo consigo el proyecto de Ley «Ley que declara de preferente interés nacional y necesidad pública la protección, conservación y prevención de riesgos de la Laguna Mamacocha de Arequipa»⁶⁷.

Su hábitat corresponde principalmente a sitios en el litoral rocoso, con fuerte exposición a las olas, rocas comparativamente grandes de tipo paredón o bloques y una franja con vegetación que hace imperceptible el acceso al agua (Sielfeld y Castilla 1999), estas características son típicas de la zona, principalmente para el cauce del río Mamacocha, notorios en la zona-2, con estratos sedimentarios y formaciones rocosas de difícil acceso y con pendiente elevada que origina los llamados rápidos (Figura 9.37). Según Ugarte (2018) esta especie puede alejarse 157 km del mar hasta una altura de casi 1700 m s. n. m. en la laguna Mamacocha, cuyas aguas confluyen en el río Colca, posiblemente su distribución se extienda aguas arriba de este río.



Figura 9.36. Vista panorámica de la Zona-3.

⁶⁶ Son especies carismáticas que sirven como símbolo para atraer el apoyo gubernamental, del público o de posibles donantes, para la implementación y desarrollo de programas de conservación que involucren a la especie bandera y las especies menos llamativas con las que pudiera estar asociada

⁶⁷ Proyecto de Ley N° 2278/2017-CR, Ley que declara de preferente interés nacional y necesidad pública la protección, conservación y prevención de riesgos de la Laguna Mamacocha de Arequipa

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

La dieta del huallaque está constituida principalmente por invertebrados, incluyendo crustáceos como camarones, cangrejos y moluscos, así como también peces y ocasionalmente aves y pequeños mamíferos (Cabello, 1978; Castilla y Bahamondes, 1979; Ostfeld *et al.*, 1989, Sielfeld, 1990). La cuenca Colca-Majes conforma uno de los cañones más profundos del mundo, con poca actividad antrópica y hay bastante abundancia de camarones y peces, lo que propicia la presencia del huallaque en el área.

Adicionalmente, la principal amenaza para esta especie podría estar siendo la muerte incidental por actividades de pesca (Brownell, 1978), persecución o muerte directamente por su supuesto daño a poblaciones locales de peces, bivalvos y camarones (Miller *et al.*, 1983; Redford y Eisenberg, 1992). Esto puede estar propiciándose por la actividad de extracción de camarones que es muy practicada en la zona.



Figura 9.37. Cueva de *Lontra felina* «nutria o huallaque» en el río Colca cercano a la confluencia con el río Mamacochoa

Cabe mencionar que también se registraron especies por encuentros casuales u ocasionales, fuera de los transectos de evaluación, tales como *Lagidium viscacia* «vizcacha» con 15 registros por observación directa, *Lepus europaeus* «liebre» con 1 observación cercano a la localidad de Ayo y *Lontra felina* «nutria o huallaque» registrada por medio de 1 huella a orillas del río Colca. Destacando a la primera como una especie invasora, introducida en América del sur en Argentina y Chile (Cossíos, 2004), desde donde se ha desplazado ocupando por lo menos 5 departamentos de la parte sur del Perú como Arequipa, Cusco, Moquegua, Puno y Tacna (Zeballos *et al.*, 2012). Además, esta especie es oportunista utilizando una amplia gama de hábitats cuyos efectos pueden ocasionar daños considerables sobre las tierras de cultivo (Lleellish *et al.*, 2007).

Del total de especies registradas, 3 de ellas se encuentran por lo menos en alguna lista de conservación nacional e internacional. Entre las que destacan *Lontra felina* «nutria o huallaque» categorizada como especie En peligro (EN) por la IUCN y legislación nacional, además está considerada dentro del Apéndice I del CITES; el *Leopardus colocolo* «gato de pajonal» esta categorizada con Datos insuficientes (DD) por la legislación nacional, dentro del Apéndice II del CITES y casi amenazada (NT) por la IUCN; por último, *Lycalopex culpaeus* «zorro» está considerada dentro Apéndice II del CITES.



10. CONCLUSIONES

- El principal ecosistema de agua dulce evaluado correspondió a la laguna Mamacocha, que presentó buena calidad de agua, sedimento y comunidades hidrobiológicas relacionado a un ecosistema frágil con presencia de formaciones vegetales que constituyen un complejo dinámico que brindan diversos servicios ecosistémicos (ecológicos⁶⁸ y económicos⁶⁹), donde interactúan diferentes especies de flora y fauna endémicas y para la conservación. Se resalta la presencia de la «nutria andina o huallaque» *Lontra felina*, especie bandera del distrito de Ayo, la cual es indicadora del buen estado de conservación de la laguna.
- El área de evaluación de agua, sedimento y comunidades hidrobiológicas, evaluados en octubre de 2018 y mayo de 2019, se enfocó en la parte baja de la cuenca del río Mamacocha que abarcó puntos de muestreo en la descarga de la laguna Chachas (LCha-1), el río Chachas (RCha-1), la quebrada Subna (QSub-1), la laguna Mamacocha (LMam-1, LMam-2, LMam-3 y LMam-4), el río Mamacocha (RMam-2, RMam-3 y RMam-4) y el río Colca (RCol-1 y RCol-2). Además, se consideró el manantial sin nombre 1 (MSN-1), el canal de la descarga de la microcentral Ayo (DCMA-1) y el canal de riego Ayo (CAAyo-1 y CAAyo-2).
- Los parámetros fisicoquímicos de los citados puntos de muestreo cumplieron con los valores establecidos en los ECA para Agua 2017 de la categoría respectiva, a excepción del 2018 donde el manganeso excedió la Categoría 3 subcategorías D1 y D2 en la quebrada Subna (QSub-1) y el boro que excedió la Categoría 3 subcategoría D1 en el río Colca (RCol-1), antes de la confluencia con el río Mamacocha.
- La presencia de manganeso en la quebrada Subna (QSub-1) se debería al predominio de rocas intrusivas (minerales máficos) asociadas a zonas de alteración hidrotermal ubicadas en la naciente (cerro Jallhua) y al sureste (cerro Subna) de la quebrada Subna, donde predomina los óxidos de hierro (Fe^{3+}) y en menor proporción arcillas.
- Con respecto al boro registrado en el río Colca (RCol-1), aguas arriba de la confluencia con el río Mamacocha, estaría relacionado a la influencia de fuentes hidrotermales ubicadas en las márgenes del río Colca; sin embargo, su concentración disminuye aguas abajo de la confluencia con el río Mamacocha, debido a la ausencia o poca influencia de fuentes hidrotermales y aporte de agua de quebradas y ríos con bajas concentraciones de boro.
- El sustrato, profundidad de la columna de agua, caudal y disponibilidad de la materia orgánica de los ríos Mamacocha y Colca y la quebrada Subna (ambientes lóticos altoandinos) son factores abióticos que influyen en las reestructuraciones ecológicas estacionales, de las cuales están sujetas las comunidades hidrobiológicas; por lo que tienen gran variabilidad temporal, siendo el orden Ephemeroptera los de mayor riqueza y junto con el orden Diptera los más abundantes.
- El comportamiento hidroquímico y la concentración de metales pesados también influyen en la variación temporal de las comunidades hidrobiológicas en cuerpos lóticos, como ocurre con la dinámica de la cadena trófica (condiciones de ciclo alimentario) de la quebrada Subna (QSub-1) - relacionada con la disminución drástica del perifiton, por el cual en condiciones extremas se han adaptado organismos altamente tolerantes y de estrategia como la familia Chironomidae (larvas y pupas acuáticas de insectos como las

⁶⁸ Regulación del clima, banco de semillas de especies protegidas, dispersión de semilla, polinización controladores de plagas.

⁶⁹ Turismo ecológico y mejora de la calidad de vida de la población.



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

moscas) asociadas a múltiples estrategias de alimentación; por lo que varios géneros se encuentran en aguas limpias con buena oxigenación y también son indicadores de contaminación con materia orgánica.

- La composición fisicoquímica de la laguna Mamacocha difiere de la descarga de laguna Chachas, el río Chachas, y la quebrada Subna, debido a que la resurgencia (flujo subsuperficial y de tipo local) que recarga la laguna Mamacocha y en su recorrido de 18 km interacciona con rocas volcánicas andesíticas y andesitas basálticas y niveles sedimentarios calcáreos, areniscas y lutitas negras de las formaciones Socosani y Puente.
- La formación vegetal ribereña de la laguna y río Mamacocha impide un mayor efecto erosivo de las precipitaciones sobre material andesítico, lo que se ve reflejado en las bajas concentraciones de material suspendido e iguales condiciones fisicoquímicas a nivel espacial y temporal; a diferencia del río Colca que sí registró variación debido al aporte del río Mamacocha, principalmente el cambio de facie hidroquímica y la disminución del elementos químicos relacionados a las fuentes hidrotermales como el boro.
- Con respecto a las comunidades hidrobiológicas en la laguna Mamacocha se registró mayor diversidad de fitoplancton (33 especies) que la laguna Chachas, en que dominan un número menor de especies como *Asterionella formosa* y *Aulacoseira granulata*. Asimismo, se aprecia una mayor diversificación de zooplancton.
- La diferencia de concentración de hierro y fósforo disuelto y los sólidos en suspensión influyen en las condiciones limnológicas de las lagunas, por lo que el phylum Cyanobacteria solo fue registrado en la laguna Mamacocha (posibles condiciones oligotróficas); mientras que, la laguna Chachas registró algas Bacillariophyta (diatomeas) y una especie única de Orchophyta (*Mallomonas sp.*).
- La laguna Mamacocha registró macrofitas emergentes y sumergidas que aportan mayor cantidad de materia orgánica y junto con la mayor abundancia de perifiton permiten la alta diversidad de macroinvertebrados bentónicos; mientras que, la laguna Chachas registró macrofitas sumergidas y con sustratos de arena y canto rodado, favorecen la diversificación de macroinvertebrados como los Ephemeropteros en condiciones favorables.
- Las citadas diferencias limnológicas, fisicoquímica e hidromorfológica de la laguna Mamacocha, cuerpo de agua de mayor biodiversidad y poca dominancia de algún grupo en específico, permiten que tenga las condiciones favorable para ser un refugio con fines reproductivos y de alimentación del pejerrey de río, *Basilichthys semotilus*, que estaría migrando del río Colca, y por ende también a la presencia de la «nutria andina»; no obstante, las microalgas bentónicas representarían un primer eslabón de suma relevancia para la cadena trófica de ambas lagunas.
- El manantial sin nombre 1 (MSN-1) y la descarga de la microcentral Ayo (DMCA-1) presentan características fisicoquímicas similares al río Mamacocha, por lo que no generan cambios fisicoquímicos al río, en cambio el canal de riego Ayo - aunque no llega a tributar al río Mamacocha- difiere en niveles de concentración de sulfatos, calcio, magnesio y estroncio por la formación geológica de su nacimiento en el cerro Oroscupio e interacción por la margen izquierda con el cerro Ccotocahuana.
- Finalmente, los sedimentos evaluados en octubre de 2018 en la laguna Chachas (LCha-1), laguna Mamacocha (LMam-2) y río Mamacocha (RMam-3) fueron comparados referencialmente con los estándares de la Guía canadiense para sedimentos de aguas



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

continentales *Canadian Environment Quality Guidelines* [CEQG]), en donde se resalta que en el punto LCha-1 superó el arsénico el valor PEL y plomo y mercurio total el valor ISQG; el punto LMam-2 superó el valor PEL para cobre; y en el punto RMam-3 el valor ISGQ para zinc.

- La evaluación de flora y fauna silvestre se realizó en 3 zonas (zona-1, que incluye la Laguna Mamacocha (EF), el tramo inicial del río Mamacocha y formaciones vegetales asociadas; zona-2, que abarca gran parte de la zona media del río Mamacocha; y zona-3, que corresponde a la confluencia de los ríos Mamacocha y Colca) y 2 formaciones vegetales (monte ribereño y matorral desértico)
- Para flora silvestre se evaluaron cuantitativamente 13 transectos (9 en monte ribereño y 4 en matorral desértico); además, se registró cualitativamente especies que no fueron registradas en los transectos. Se registraron en total 74 especies agrupadas en 41 familias botánicas y 66 géneros (66 especies cuantitativamente y 8 especies fueron adicionados cualitativamente), donde las familias más diversas fueron Asteraceae, Poaceae y Cactaceae, los géneros más diversos fueron Solanum, Amaranthus, Baccharis y Plantago entre otras.
- La vegetación de monte ribereño fue la formación con mayor riqueza, con 64 especies; seguida del matorral desértico con 16 especies. Por otro lado, las especies con mayor abundancia relativa en el monte ribereño fueron *Schinus molle* «molle», *Escallonia angustifolia*, *Arundo donax* «carrizo» y *Ficus carica* «higo» y en matorral desértico, *Browningia candelaris*, *Cylindropuntia tunicata*, *Neoraimondia arequipensis* y *Haageocereus pluriflorus* (Cactaceae).
- Del total de especies, en la zona-1 se registró un total de 38 especies (27 especies en monte ribereño y 13 especies en matorral desértico), en la zona-2 se registró 39 especies (30 especies en monte ribereño y 10 especies en matorral desértico) y en la zona-3, solo 10 especies que corresponde a monte ribereño. Estas variaciones son debido a la cobertura vegetal; donde, la formación con mayor cobertura corresponde a monte ribereño (79,2 % para la zona-1, 90 % para la zona-2 y 30,5 para la zona-3), seguida del matorral desértico que registró entre 18,3 y 14 % de cobertura vegetal, debido a la mayor presencia de áreas descubiertos y dominado por roca y suelo.
- Dentro de las especies que se encuentran en algún grado de protección según normativas nacionales e internaciones, la presente evaluación reportó 18 especies de las 74 registradas, donde: 4 especies están en la categoría de Casi Amenazada (NT) según el D.S. N.º 043-2006AG; 14 especies en la categoría de Preocupación Menor (LC) y 2 en la categoría Datos Insuficientes (DD) según la IUCN (2019); 7 especies (todas ellas de la Familia Cactaceae) en los listados del apéndice II de la lista CITES (2017) y finalmente 3 especies endémicas para Perú según la Lista roja de especies para Perú.
- En el área de estudio se registraron 3 especies de reptiles, *Microlophus* sp. «lagartija» *Phyllodactylus gerrhopygus* «salamanqueja» y *Pseudalsophis elegans* «culebra de la costa». La amplia variedad de microhábitats que se presentan en el ecosistema de monte ribereño que circunda a la laguna Mamacocha, permitió la mayor diversidad de especies de reptiles en el área estudio.



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

- *Microlophus* sp. «lagartija» fue la especie más abundante en toda el área de estudio; asimismo, se necesitan estudios especializados para la correcta identificación de *Microlophus* sp. «lagartija», de forma que permita su estado actual y protección.
- En el área de estudio, la zona -1 presentó los mayores valores de riqueza y abundancia de especies, registrándose las 3 especies de reptiles; mientras que en la zona-2 se registró únicamente *Microlophus* sp. «lagartija». No se registraron especies en la zona-3.
- *Phyllodactylus gerrhopygus* «salamanqueja» y *Pseudalsophis elegans* «culebra de la costa» se encuentran incluidas en la categoría de Preocupación Menor por parte de la IUCN (2019). Cabe precisar que, de todas las especies registradas en la evaluación, *Microlophus* sp. «lagartija» se encuentra únicamente en territorio peruano, siendo el área de estudio parte de su probable rango de distribución.
- En el área de estudio la avifauna registrada fue típica de la zona interandina; se registraron mediante el método de búsquedas intensivas un total de 20 especies pertenecientes a 15 familias y 8 órdenes. Los órdenes que presentaron mayor número de especies fueron los Passeriformes con 9 especies, seguido de Apodiformes con 4 especies; mientras que las familias con mayor número de especies fueron Trochilidae, Tyrannidae, Hirundinidae, Rallidae y Apodidae, todas con 2 especies.
- La especie con mayor número de individuos fue *Aeronautes andecolus* «vencejo andino», con 96 individuos; seguido de *Streptoprocne zonaris* «vencejo de collar blanco», con 25 individuos. Todas las especies registradas son residentes.
- La formación vegetal que presentó la mayor riqueza, abundancia y diversidad de aves fue el monte ribereño con 19 especies y 162 individuos; mientras que la formación vegetal matorral desértico, fue la de menor riqueza y abundancia, con 7 especies y 44 individuos. La zona-1 registró la mayor riqueza y abundancia.
- Durante la evaluación se registraron 7 especies de interés para la conservación, de las cuales 1 especie es endémica de Perú, 1 está restringida al bioma Andes Centrales, y 1 especie registrada está dentro de alguna zona endémica de aves (EBA).
- Se ha registrado 2 especies dentro de alguna categoría de conservación de la IUCN (2019), estas especies son *Vultur gryphus* «cóndor andino» y *Xenospingus concolor* «fringilo apizarrado» categorizadas como Especies Vulnerables (VU), mientras que según el D.S.004-2014, se reportan 2 especies dentro de alguna categoría, *Vultur gryphus* «cóndor andino» categorizada como especie En Peligro (EN) y *Xenospingus concolor* «fringilo apizarrado» categorizada como especie Vulnerable (VU) y según CITES (2017), nos indica que se registraron 4 especies registradas en el apéndice II: *Geranoaetus melanoleucus*, *Patagona gigas*, *Rhodopis vesper* y *Falco sparverius* y se registró una especie dentro del apéndice I, *Vultur gryphus*.
- La avifauna registrada en el área de estudio indica que la laguna Mamacocha y las formaciones vegetales identificadas son ecosistemas conservados que albergan especies de aves endémicas como *Pseudasthenes cactorum*; especies polinizadoras como *Rhodopis vesper* y *Patagona gigas*; especies depredadoras como *Falco sparverius* y *Geranoaetus polyosoma*; y especies generalistas; cuyas poblaciones se mantienen en equilibrio.
- Se registró un total de 5 especies de mamíferos mayores con predominio del orden Carnivora con 3 especies, de estas se tienen como especies de particular importancia a *Lontra felina* «nutria o huallaque» y *Leopardus colocolo* «gato de pajonal».



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

- Se registró la especie introducida *Lepus europaeus* «liebre» que de acuerdo con su alta capacidad de dispersión es considerada como una especie invasiva. Este registro puede sumarse a la lista de puntos de interés para la descripción de su distribución en el Perú.
- El método de muestreo por recorridos permitió registrar las 2 especies esperadas según el análisis de la curva de acumulación para el área de estudio; además, con el método complementario de cámaras trampa se registró 2 especies adicionales y mediante registros fuera de los métodos aplicados se listó 1 especie más.
- La zona-1 y zona-3 presentaron los mayores registros de especies de mamíferos silvestres con 2 especies en cada zona por medio de recorridos; por ende, presentan la mayor diversidad.
- De las 5 especies registradas, 3 de ellas se encuentran por lo menos en una categoría de conservación nacional e internacional. Entre ellas tenemos a *Lontra felina* «nutria o huallaque» en categoría de En peligro (EN) y *Leopardus colocolo* «gato de pajonal» categorizada en estado de Casi Amenazada (NT) ambas para la IUCN (2019) y para la legislación nacional (Decreto Supremo N.º 004-2014-MINAGRI) como especie en situación de En peligro (EN) y con Datos insuficientes (DD) respectivamente. Finalmente, según el CITES (2017) *Leopardus colocolo* «gato de pajonal» y *Lycalopex culpaeus*, «zorro» se encuentran listadas en el apéndice II y *Lontra felina* «nutria o huallaque» en el apéndice I.

11. ANEXOS

- Anexo 1: Versión digital del Informe N.º 325-2018-OEFA/DEAM-STEAC, correspondiente al informe preliminar de la EAT del proyecto Laguna Azul del año 2018
- Anexo 2: Mapas
- Anexo 3: Reporte de campo N.º 0219-2019-SSIM
- Anexo 4: Reporte de resultados N.º 212-2019-SSIM (matriz de agua superficial)
- Anexo 5: Reporte de resultados N.º 262-2019-SSIM (matriz de comunidades hidrobiológicas, flora y fauna correspondiente al año 2019)
- Anexo 6: Procesamiento de datos hidroquímicos
- Anexo 7: Participación ciudadana

12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acosta, R., Ríos, B., Rieradevall, M. & Prat, N. (2009). Propuesta de un Protocolo de Evaluación de la Calidad Ecológica de Ríos Andinos (C.E.R.A) y su Aplicación a dos Cuencas en Ecuador y Perú. *Limnetica*, 28(1), 35-64.

Alvarado, A., Bertsch, F., Bornemiza, E., Cabalceta, G., Forsythe, W., Henríquez, C., Mata, R., Molina, E. y Salas, R. (2001). *Suelos derivados de cenizas volcánicas (Andisoles) de Costa Rica*. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo.

American Public Health Association- APHA. (2012). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 22nd Edition. Washington, DC, USA.

AmphibiaWeb (2019). AmphibiaWeb: *Information on amphibian biology and conservation*. University of California, Berkeley, C.A., USA [10 de junio 2019]. Recuperado de <https://amphibiaweb.org/>.

Angulo, A., Rueda-Almohacid, J. V., Rodríguez-Mahecha, J. V. y La Marca, E. (Eds). (2006). *Técnicas de Inventario y Monitoreo para los anfibios de la región tropical andina*. Conservation



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

Internacional. Serie Manuales de Campo N° 2. Panamericana Formas e Impresos S.A., Bogotá D.C. 298 pp.

Anderson, M., Gorley, R.N. y Clarke, K. (2008). *PERMANOVA+ for primer: Guide to software and statistical methods*.

Appelo, C. and Postma, D. (2005). *Geochemistry, Groundwater and Pollution*. 2nd Edition, Balkema, Rotterdam. <http://dx.doi.org/10.1201/9781439833544>.

Aquino, R. M., Bodmer R. E. y Gil, J. G. (2001). *Mamíferos de la cuenca del Río Samiria: Ecología poblacional y sustentabilidad de la caza*. Impr. Rosegraft. Lima, Perú.

Autoridad Nacional del Agua - ANA. (2015). *Informe de vigilancia y control del cuarto monitoreo participativo de calidad de agua superficial en la cuenca Camaná-Majes Colca*. (Informe técnico N.º 003-2015-ANA-ANA.CO-ALA.CM-AT/GFA).

Baev, P. V. y Penev, L. D. (1995). *BIODIV: program for calculating biological diversity parameters, similarity, niche overlap, and cluster analysis*. Pensoft, Sofia, Bulgaria.

Benavides, V. (1962). Estratigrafía Pre-terciaria de la región de Arequipa. Congreso Nacional de Geología, 2, Lima, 1960. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*, (38):5-63.

Boddicker M., Rodriguez J. J. y Amanzo, J. (2002). Indices for assessment and monitoring of large mammals within an adaptive management framework. *Environmental Monitoring and Assessment*, 76, 105 - 123.

Bibby, C., Jones, M. y Marsden, S. (1998). Expedition Field Techniques. En *Royal Geographical Society: London*.

Brownell Jr, R. L. (1978). Ecology and conservation of the Marine Otter (*Lutra felina*). En N. Duplaix (Ed.) *Proceedings of the First Working Meeting of the IUCN/SSC Otter Specialist Group*. Paramarimbo, Suriname, pp. 104-106.

Burnham, K. P., Anderson, D. R. y Laake, J. L. (1980). Estimation of density from line transects sampling of biological population. *Wildlife Monographs*, 71, 1-203.

Blanco, D. (1999). Los Humedales como Hábitat de aves acuáticas. *Boletín UNESCO, Uruguay*, 208-217.

Brako, L. y Zarucchi, J. (1993). Catálogo de las Angiospermas y Gymnospermas del Perú. *Missouri Botanical Garden, Monographs in Systematic Botany*, 45, 1-1286.

Cabello, C. (1978). La nutria de mar (*Lutra felina*) en la Isla de Chiloé, Chile. En: N. Duplaix (Ed.), *Proceedings of the first working meeting of the otter specialist group*, (pp. 108-119). International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, Morges, Switzerland

Castilla, J. y Bahamondes, I. (1979). Observaciones conductuales y ecológicas sobre *Lutra felina* en las zonas central y centro-norte de Chile. *Archivos de Biología y Medicina Experimentales*, 12, 119-132.

Caldas, J. (1993). Geología de los cuadrángulos de Huambo (32-r) y Orcopampa (31-r). *Bol. N.º 46, Serie A: Carta Geológica Nacional*. Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. pp. 62.



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

Cano, A., Young, K. y Leon, B. (1996). Áreas importantes para la conservación de las fanerógamas en el Perú. En: L. O. Rodríguez (Ed.), *Diversidad Biológica del Perú. Zonas Prioritarias para su Conservación* (1, 39-43). FANPE-GTZ, INRENA. Lima.

Cerrate, E. (1969). Manera de preparar Plantas para el Herbario. *Museo de Historia Natural, Serie de Divulgación*, 1, 1-10.

Cervantes, C.A. (1977). *Caracterización de la fracción mineral y determinación del ZPC en 4 Andepts de la provincia de Guanacaste* (Tesis doctoral). Universidad de Costa Rica, Costa Rica.

Chadwick, S. S. (1988). Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry. *Reference Services Review*, 16(4), 31-34.

Chávez, C., De la Torre, A., Bárcenas, H., Medellín, R. A., Zarza, H. y Ceballos, G. (Eds.). (2013). *Manual de fototrampeo para estudio de fauna silvestre. El jaguar en México como estudio de caso* (1era Ed.). Alianza WWF-Telcel, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Chávez, J. K. (2007). *Caracterización del uso de hábitat y dieta de «zorro andino» Pseudalopex culpaeus (Molina, 1782) en San Antonio de Yarabamba- Arequipa* (Tesis de licenciatura), Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa, Perú.

Chudzińska, M., Van Beest, F., Madsen, J. y Nabe-Nielsen, J. (2015). Using habitat selection theories to predict the spatiotemporal distribution of migratory birds during stopover – a case study of pink-footed geese *Anser brachyrhynchus*. *Oikos*, 124(7):851-86.

Clarke, K. R. y Gorley, R. N. (2006). PRIMER: User Manual/Tutorial. Plymouth: PRIMER-E. (Version 6) [Software]. Recuperado de: <https://www.primer-e.com/our-software>

Cobbing, J. (1984). *The geology of the granitoids rocks and their envelope in coastal Peru* (two maps). Servicio geológico de Reino Unido.

Cody, M. L. (1985). *Habitat selection in birds*. Academic Press, New York, USA

Colwell, R. K. (2013). EstimateS: Statistical Estimation of Species Richness and Shared Species from Samples. [Version 9.1]. Recuperado de: <http://purl.oclc.org/estimates>.

Convención Internacional sobre el Comercio de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres - CITES. (2017). *Apéndices I, II y III*. [1 de junio 2019]. Recuperado de: <http://www.cites.org>

Convention on Migratory Specie (2015). *Convention on Migratory Species. Appendices I and II*. [1 de junio 2019]. Recuperado de: <http://www.cms.int/en/page/appendix-i-ii-cms>

Crisci, J. V., & Armengol, M. F. L. (1983). *Introducción a la teoría y práctica de la taxonomía numérica* (No. 57.06 CRI). Washington^ eD. CDC: OEA.

Crump, M. y Scott, L. (1994). Visual Encounter Survey. En: W.R. Heyer, M.A. Donnelly, R.W. McDiarmid, L.C. Hayek y M.S. Foster (Ed.), *Measuring and Monitoring Biological Diversity, Standard Methods for Amphibians* (pp. 84-92). Smithsonian Institution Press.

Cossíos, D. (2004). La liebre europea *Lepus europaeus* (Mammalia, Leporidae), especie invasora en el sur del Perú. *Revista Peruana de Biología*, 11(2), 209-211.



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

Cossíos, D., Beltrán, F., Bennet, M., Bernal, N., Fajardo, U., Lucherini, M., Merino, M. J., Marino, J., Napolitano, C., Palacios, R., Perovic, P., Ramirez, Y., Villalba, L., Walker, S., y Sillero-Zubiri, C. (2007). *Manual de metodologías para relevamiento de carnívoros Alto Andinos*. Alianza Gato Andino. Buenos Aires, Argentina.

Cruz, M., (2002). *Estratigrafía y evolución tectono-sedimentaria de los depósitos sin-orogénicos del cuadrángulo de Huambo (32-r, cuadrante II): Las formaciones Ashua y Huanca*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional San Agustín Arequipa, Perú. pp.127.

Cuadras, M. (2014). *Nuevos Métodos de Análisis Multivariante*. Barcelona: CMC Editions

Custodio, E. y Llamas, M. R. (1976). *Hidrología Subterránea*. – Tomo I y II. Ed. Omega, Barcelona, España.

Davis, S.N. y De Wiest, R. (1971). *Hidrología*. – Tomo I. Ed. Ariel, Barcelona España.

Delacour, A. (2002). *Etude pétrogénétique des laves des centres quaternaires mineurs dans les régions d'Andahua-Orcopampa, de Huambo et du Cerro Nicholson (Andes Centrales, Perou)*. DEA „Processus magmatiques et métamorphiques – Volcanologie” & Université Blaise-Pascal, Clermont Ferrand, 48 p.

Díaz-Pulido, A. y Payán Garrido, E. (2012). *Manual de fototrampeo: una herramienta de investigación para la conservación de la biodiversidad en Colombia*. Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y Panthera, Colombia.

Díaz-Francés, E. y Soberón, J. (2005). Statistical estimation and model selection of species accumulation functions. *Conservation Biology*, 19(2), 569-573.

Dillon, M. O., Leiva, S. y Quipuscoa, V. (2007). Five new species of *Nolana* (Solanaceae-Nolaneae) from Peru and notes on the classification of additional taxa. *Arnaldoa*, 14, 171-190.

Decreto Supremo N.º 004-2014-MINAGRI. Aprueban la actualización de la lista de clasificación y categorización de las especies amenazadas de fauna silvestre legalmente protegidas. Ministerio de Agricultura (2014).

Decreto Supremo N.º 043-2006-AG. Aprueban la categorización de especies amenazadas de Flora Silvestre. Ministerio de Agricultura (2006).

Decreto Supremo N.º 505-2016-MINAGRI. Aprueban la clasificación oficial de especies de flora silvestre categorizadas como amenazadas. Ministerio de Agricultura (2016).

Domínguez, E., & Fernández, H. R. (2009). *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y biología*. Fundación Miguel Lillo, Tucumán, Argentina, 656.

Eisenberg, J. F. y Redford, K. H. (1999). *Mammals of the Neotropics. The Central Neotropics: Ecuador, Peru, Bolivia, Brazil* (Vol. 3). University Press, Chicago, Illinois.

Encalada, A., y Rieradevall, M. (2011). Protocolo simplificado y guía de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA-S). *Proyecto FUCARA, Quito*.

Escobedo, M. (2015). Mamíferos/Mammals. En N. Pitman, C. Vriesendorp, L. Rivera Chávez, T. Wachter, D. Alvira Reyes, Á. del Campo, G. Gagliardi-Urrutia, D. Rivera González, L. Trevejo, D. Rivera González, y S. Heilpern (Ed.), *Perú: Tapiche-Blanco. Rapid Biological and Social Inventories Report 27* (pp. 472–485). The Field Museum, Chicago.



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

Fernández, E. E., García, R. M. y Villarroya, G. F. (2009). *Los hidrogramas y otros sistemas de representación del quimismo de las aguas*. Madrid: Grafinat.

Ferreya, R. (1944). Revisión del género *Onoseris*. *Journal of the Arnold Arboretum*, 25(3), 349-395.

Ferreya, R. (1946). A revision of the Peruvian species of *Monnina* (Polygalaceae). *Journal of the Arnold Arboretum*, 27(2), 123-167.

Ferreya, R. (1960). Algunos aspectos fitogeográficos del Perú. *Publicaciones del Instituto Geográfico de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos*. Lima, serie I (B), 41-87.

Frost, D. R. (2019). *Amphibian species of the world: an online reference*. (Version 6.0.) [10 de junio 2019]. Recuperado de: <http://research.amnh.org/herpetology/amphibia/index.html>

Fjeldsa, J. y Krabbe, N. (1990). *Birds of the High Andes*. Zoological Museum. University of Copenhagen and Appollo Books, Svenberg, Denmark.

Franke, I. Nolazco, S. y León, F. (22 de febrero, 2014). Evaluación de Aves en Ecosistemas Altoandinos I. Resultados de las Evaluaciones de Avifauna. [Artículo en un blog]. Recuperado de http://avesecologaymedioambiente.blogspot.com/2014/02/evaluacion-de-la-avifauna-en-la-zona_22.html.

Franke, I. (01 de abril, 2017). Las aves de los bofedales altoandinos peruanos. [Artículo en un blog]. Recuperado de <http://avesecologaymedioambiente.blogspot.com/2017/04/las-aves-de-los-bofedales-altoandinos.html?q=bofedales>

Galán De Mera, A., Linares, E., Campos de la Cruz, J. y Orellana J. A. (2009). Nuevas observaciones sobre la vegetación del sur del Perú. Del Desierto Pacífico al Altiplano. *Acta Botánica Malacitana*, 34, 107-144.

Galán De Mera, A., Baldeón, S., Beltrán, H., Benavente, M. y Gómez, J. (2004). Datos sobre la vegetación del centro del Perú. *Acta Botánica Malacitana*, 29, 89-115.

Galán De Mera, A., Cáceres, C. y González, A. (2002). Las comunidades con Cactáceas del Sur del Perú, II. Nueva asociación y alianza del Desierto Pacífico. *Acta Botánica Malacitana*, 27, 270-272.

Galas, A. (2009). *Alcance y formaciones volcánicas del grupo Andahua*. Sociedad Geográfica de Lima. Ed. Zaniel Novoa Goicochea, pp.107-137.

Galas, A., Paulo, A., Gaidzik, K., Zabala, B., Kalicki, T., Churata, D., Galas, S., & Mariño, J. (2018). Geosites and Geotouristic Attractions Proposed for the Project Geopark Colca and Volcanoes of Andagua, Peru. *Geoheritage*, vol.10, n.4, 2018, pp.707-729.

Gentry, A. H. (1993). Overview of Peruvian Flora. En L. Brako, y J. Zarucchi (Eds.). *Catalogue of Flowering Plants and Gymnosperms*, (pp. 29-39) Missouri Botanical Garden, Monographs in Systematic Botany.

Gibbs, R. J. (1970). Mechanisms Controlling Word Water Chemistry. *Science*, 170, 1088-1090.



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

Gómez-Márquez, J. L., Pena-Mendoza, B., Luis Guzmán-Santiago, J., & Gallardo-Pineda, V. (2013). Zooplankton composition, abundance and water quality in a microreservoir at Morelos State. *Hidrobiológica*, 23(2), 227-240

Gonzales, N., Hernandez, M.A., & Viela, C.R. (1986). Léxico Hidrogeológico. Comisión de Investigaciones Científicas, La Plata, Argentina.

Gonzalez, O. y La Torre-Cuadros, M. (2001). Análisis de hábitat del fringilo apizarrado (*Xenospingus concolor*) en la costa sur del Perú. *Ornitología neotropical*, 12, 153-164.

Gotelli, N. y Colwell, R. (2001). Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. *Ecology Letters*, 4: 379-391.

Gray, J. S. (2002). Species richness of marine soft sediments. *Marine Ecology Progress Series*, 244, 285-297.

Grimwood R. (1969). Notes on the distribution and status of some Peruvian mammals. *American Committee for International Wild Life protection and New York Zoological Society. Special Publication*, 21, 1-86.

Guimaraes Bermejo, M., & González de Zayas, R. (2013). Productividad primaria en Laguna Larga, Cayo Coco, Cuba. *Rev.Mar.Cost.* Vol. 3, 31-41.

Hammer, O., Harper, D. A. T. y Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological Statistics Software. (Version 3.15) [Software]. Recuperado de <http://folk.uio.no/ohammer/past/>

Heip, C. H., Herman, P. M., & Soetaert, K. (1998). Indices of diversity and evenness. *Oceanis*, 24(4), 61-88.

Henríquez, C. y Cabalceta, G. (1999). *Guía práctica para el estudio introductorio de los suelos con un enfoque agrícola*. ACCS. San José, Costa Rica.

Hill, M. O. (1973). Diversity and evenness: a unifying notation and its consequences. *Ecology*, 54(2), 427-432.

Hoempler, A. (1962). Valle de volcanes de Andahua, Arequipa. Congreso Nacional de Geología, 2, Lima, 1960. Boletín de la Sociedad Geológica del Perú, (37): 59-69.

Hosttas, J., (1967). *Estudio geológico del túnel terminal entre Huambo y Querque*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional San Agustín, Arequipa, Perú. pp.107.

Huanaco, J. L., Montoya Terreros, H., Castellanos Sánchez, P. L., y Quiroz Barraza, R. A. (2018). Evaluación de la diversidad del fitoplancton de la laguna La Viuda (Lima, Perú) en agosto-noviembre 2016. *Arnaldoa*, 25(3), 1027-1040.

Hussien, B.M.y Faiyad, A.S. (2016). Moldeling the Hydrogeochemical Processes and Source of Ions in the Groundwater of Aquifers Within Kasra-Nukhaib Region (West Iraq). *International Journal of Geosciences*, 7, 1156-1181.

International Union for Conservation of Nature – IUCN. (2019). *The IUCN Red List of Threatened Species*. (Version 2019-1) [1 de junio 2019]. Recuperado de www.iucnredlist.org

Instituto del Mar del Perú – Imarpe (2017). *Valle de los volcanes de Andahua*, Castilla, Arequipa. Nota científica. Recuperado de: <http://biblioimarpe.imarpe.gob.pe/handle/123456789/3226>



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico- INGEMMET. (2016). *Guía geoturística: Valle de los volcanes de Andahuay*. Boletín Serie I: Patrimonio y Geoturismo N° 6. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico. Lima, Perú.

Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico- INGEMMET. (2012). Estudio Geotérmico del Campo Borateras. Geodinámica e Ingeniería Geológica. Boletín N° 047 Serie C.

Jenks, W. F. (1948). Geología de la hoja de Arequipa a escala 1: 200 000. Geology of the Arequipa Quadrangle of the Carta Nacional del Peru. *Boletín del Instituto Geológico del Perú*, 9, 204 p.

Jiménez-Valverde, A. y Hortal, J. (2003). Las curvas de acumulación de especies y la necesidad de evaluar la calidad de los inventarios biológicos. *Revista Ibérica de Aracnología*, 8, 151-161.

Jordán, J. y Castro, D. (2010). Evaluación preliminar de la herpetofauna en la zona reservada de San Fernando. En *Evaluación rápida de la diversidad biológica de los ecosistemas terrestres de la Zona Reservada San Fernando, Ica* (pp 59-70). UNMSM– SERNANP.

Jost, L. (2006). Entropy and diversity. *Oikos*, 113(2), 363-375.

Karanth, K. U. y Nichols, J. D. (Eds.). (2002). *Monitoring tigers and their prey, a manual for researchers, managers and conservationist in tropical Asia*. Centre for Wildlife Studies, Bangalore, India.

Karanth, K.U., Nichols, J. D. y Kumar, N. S. (2004). Photographic sampling of elusive mammals in tropical forest. En W. L. Thomson (Ed.) *Sampling rare or elusive species* (pp. 229-247). Island Press. Washington.

Kays, R. W. y Slauson, K. M. (2008). Remote Cameras. En R.A. Long, P. MacKay, W.J. Zielinski y J.C. Ray (Eds.). *Noninvasive survey methods for carnivores* (pp. 110-140). Island Press. Washington D.C.

Krebs, C. J. (1989). *Ecological Methodology*. Harper and Row Publishers, New York.

Lajo Soto, J. A. (2017). *Valoración económica del patrimonio geológico del Valle de los Volcanes de Andagua* (Tesis de maestría) Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Perú.

León, B., Roque, J., Ulloa-Ulloa, C., Pitman, N., Jorgensen P. M. y Cano, A (Eds.). (2006). El libro rojo de las plantas endémicas del Perú. *Revista Peruana de Biología*. Número especial, 13(2), 971 pp.

Llellish, M., Cadenillas, R. y Chipana, G. (2007). Presencia de liebre europea *Lepus europaeus* en el departamento de Tacna. *Serie de Publicaciones de Flora y Fauna*. INRENA, Lima, Perú.

Lynam A. (2002). Métodos de trabajo de campo para definir y proteger poblaciones de gatos grandes: los tigres indochinos como un estudio de caso. En R. Medellín, C. Equihua, C. Chetkiewics, A. Rabinowitz, P. Crawshaw, A. Rabinowitz, K. Redford, J. G. Robinson, E. Sanderson y A. Taber (Eds.), *El jaguar en el nuevo milenio: una evaluación de su estado, detección de prioridades y recomendaciones para la conservación de los jaguares en América* (pp. 62). Fondo de Cultura Económica, Universidad Nacional Autónoma de México y Wildlife Conservation Society. México.



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

- Macbride, J. F. y Dahlgren, B. E. (1936). *Flora of Peru* (vol. 21). Chicago: Field Museum of Natural History.
- Matteucci, S. D. y Colma, A. (1982). *Metodología para el estudio de la vegetación*. Monografía Científica N° 22, Serie de Biología. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos, Washington DC.
- MacArthur, R. H y MacArthur, J. W. (1961). On Bird Species Diversity. *Ecology*. 42 (3), 594-598.
- Magurran, A. E. (1988). *Ecological diversity and its measurement*. New Jersey. Princeton University Press.
- Manzanilla, J. y Péfaur, J. (2000). Consideraciones sobre Métodos y Técnicas de Campo para el Estudio de Anfibios y Reptiles. *Revista de Ecología Latinoamericana*, 7(1-2), 17-30.
- Manrique, L. (1970). *Extinción de los mares terciarios de la región Arequipa*. (Tesis doctoral). Universidad Nacional San Agustín, Arequipa, Perú
- Martínez, A. (1998). Interpretación Ambiental de datos hidroquímicos de la laguna continental de Castiñeiras. *Geographicalia*, 36,101-109.
- Megersa Olumama Dinka, W. L. (2015). Hydrochemical characterization of various surface water and groundwater resources available in Matahara areas, Fantalle Woreda of Oromiya region. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 3, 444-456. doi:10.1016/j.ejrh.2015.02.007.
- Mendivil, S. (1965). *Geología de los cuadrángulos de Maure y Antajave*. Bol. N.º 10, Serie A: Carta Geológica Nacional. pp. 97.
- Merritt, R. W., & Cummins, K. W. (Eds.). (1996). *An introduction to the aquatic insects of North America*. Kendall Hunt.
- Ministerio del Ambiente- MINAM. (2015a). Guía de inventario de la fauna silvestre. Ministerio del Ambiente, Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural. MINAM: Lima, Perú.
- Ministerio del ambiente – MINAM (2015b). Guía de inventario de la flora y vegetación. Ministerio del Ambiente, Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural. MINAM: Lima, Perú
- Miller, S. D., Rottmann, J., Raedeke, K. J. y Taber, R. D. (1983) Endangered mammals of Chile: Status and conservation. *Biological Conservation*, 25, 335-352.
- Molau, U. (1990). The genus *Bartsia* (Scrophulariaceae-Rhinanthoideae). *Opera Botánica*, 102, 1-99.
- Morán, J y Ramos, A. (2014). The VISHMOD Methodology with Hydrochemical Modeling in Intermountain (Karstic) Aquifers: Case of the Sierra Madre Oriental, Mexico. *Journal of Geography and Geology*, 6 (2), 132 -144 p.
- Moreira, J. (1988). Produtividade primaria do periphyton em viveiros destinados a piscicultura. (Dissertação do Mestrado) Universidade Federal de Bahia, Bahia, Brasil.
- Moreira G. A., C. Betancourt, L. Toledo, S. Barcía y A. Comas. (2013). Notas acerca del fitoplancton de la Laguna Guanaroca, Cienfuegos, Cuba. *Revista de investigaciones marinas*, 33(1),39-45.



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

- Morell, I., Pulido-Bosch, A., Daniele, L., & Cruz, J. V. (2008). Chemical and isotopic assessment in volcanic thermal waters: cases of Ischia (Italy) and São Miguel (Azores, Portugal). *Hydrological Processes: An International Journal*, 22(22), 4386-4399.
- Moreno, C. E. (2001). *Métodos para medir la biodiversidad*. M&T-Manuales y Tesis SEA, vol.1. Zaragoza, España.
- Moreno, C. E., y Halffter, G. (2000). Assessing the completeness of bat biodiversity inventories using species accumulation curves. *Journal of Applied Ecology*, 37(1), 149-158.
- Morrison, L. M., Marcot, B. G. y Mannan, R. W. (1992). *Wildlife-Habitat Relationships: Concepts and Applications*. The University of Wisconsin Press.
- Mostacedo, B. y Fredericksen, T. S. (2000). *Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal. Proyecto de Manejo Forestal Sostenible BOLFOR*. Santa Cruz, Bolivia.
- Mouchereou, O., Moundi, A., Remy, J., Ako, A. y Wandji, P. (2011). Paramètres chimiques et source lithologique de la minéralisation des eaux souterraines des aquifères du Plateau Bamoun, Ligne Volcanique du Cameroun (LVC). *Review Of The Bulgarian Geological Society*, 72, part 1–3, 76 p
- Nordstrom, D., R. Blaine McCleskey y J. Ball (2009). Sulfur geochemistry of hydrothermal waters in Yellowstone National Park: IV Acid–sulfate waters. *Applied Geochemistry*, 24, 191-207.
- Nowell, K. y Jackson, P. (1996) *Wild Cats. Status Survey and Conservation Action Plan*. IUCN/SSC Cat Specialist Group. IUCN, Gland, Switzerland.
- Núñez, J. y Tiravanti, J. (2012). Extensión del rango de distribución norte de dos aves endémicas de Perú: *Pseudasthenes cactorum* e *Incaspiza pulchra*. *Cotinga*, 34, 1-4.
- Odum, E. P. (1972). *Ecología*. Nueva Editorial Interamericana. Tercera edición. México, D. F.
- Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales – ONERN (1976). Mapa Ecológico del Perú. Guía Explicativa. República del Perú. Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales.
- Oksanen, J., F. G., Blanchet, R., Kindt, P., Legendre, P. R., Minchin, R. B., O'Hara, G. L., Simpson, P., Solymos, M. H., Stevens, H. y Wagner, H. (2017). *Vegan: Community ecology package*. Recuperado de <http://CRAN.R-project.org/package=vegan>.
- Ostfeld, R. S., Ebensperger, L., Klostermann, L. L. y Castilla, J. C. (1989) Foraging, activity budget, and social behavior of the South American marine otter *Lutra felina* (Molina 1782). *National Geographic Research*, 5, 422-438.
- Pacheco, V. (2002). Mamíferos del Perú. En G. Cevallos y J. A. Simonetti (Eds.). *Diversidad y Conservación de los Mamíferos Neotropicales. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad* (pp. 503-549). México, D. F.
- Pacheco, V., Cadenillas, R., Salas, E., Tello, C. y Zeballos, H. (2009). Diversidad y endemismo de los mamíferos del Perú. *Revista Peruana de Biología*, 16(1), 5-32.



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

- Pearson, O. (1951). Mammals in the highlands of southern Peru. *Bulletin of the Museum of comparative Zoölogy*, 106 (3), 117-174.
- Péfaur, J. E., Nuñel, A., Lopez, E. y Davila, J. (1978). Distribución y Clasificación de los Reptiles del Departamento de Arequipa. *Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines*, 7, 129-139.
- Peña, F., Zavala, B., Carpio, J. & Sulca, P. (2010). *Interpretación hidrogeológica de las surgencias de aguas subterráneas en el valle de los volcanes Andahua-Arequipa*. Sociedad Geológica del Perú, XV Congreso Peruano de Geología, Cusco p. 118-123.
- Peres, C. (1999). General guidelines for standardizing line transect surveys of tropical primates. *Neotropical Primates*, 7, 11-16.
- Petchey, O. L., & Gaston, K. J. (2002). Functional diversity (FD), species richness and community composition. *Ecology letters*, 5(3), 402-411
- Peters, J. A. y Donoso-Barros, R. (1970). Catalogue of the Neotropical Squamata: Part II. Lizards and Amphisbaenians. *Bulletin of the United States National Museum*, 297, 1-293.
- Pielou E. C. (1975). *Ecological diversity*. Wiley, New York.
- Plenge, M. A. (2019). *Lista de las Aves de Perú*. Recuperado de <https://sites.google.com/site/boletinunop/checklist>.
- Ralph, C., Geupel, G., Pyle, P., Martin, T., DeSante, D. y Milá, B. (1996). *Manual de métodos de campo para el monitoreo de aves terrestres*. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR- 159. Albany, CA: Pacific Southwest Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture.
- Redford, K. y Eisenberg, J. (1992). Mammals of the Neotropics. *The southern cone: Chile, Argentina, Uruguay, Paraguay*. Vol. 2. The University of Chicago Press, Illinois.
- Reinoso-Flórez, G. (1999). Estudio de la fauna béntica del río Combeima, Colombia. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, Vol: 11 Fasc: 1 pp: 35-44. En: Roldán, 2016. Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat.* 40(155):254-274.
- Reynolds, C. S. (2006). *The ecology of phytoplankton*. Cambridge University Press
- Rodríguez, J. J. y Amanzo, J.M. (2001). Medium and large mammals of the southern Vilcabamba region, Perú. En L. Alonso, A. Alonso, T. Schulenberg y F. Dallmeier (Eds). *Biological and social assessments of the Cordillera de Vilcabamba, Peru*. RAP Working Papers (vol. 12, pp. 117-126). Conservation International, Washington, D.C.
- Rodríguez, L. B., Córdova, J. H. E. y Icochea, J. (1993). Lista preliminar de los anfibios del Perú. *Publicaciones del Museo de Historia Natural. UNMSM*, 45, 1-22.
- Roldán, G. (1988). Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia. *Universidad de Antioquia, Fondo FEN, Medellín*.
- Roldán-Pérez, G. (2016). Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 40(155), 254-274.



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

Romero, D. & Ticona, P. (2003). Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Huambo (32-r), a escala 1:50 000. Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. Lima.

Romo, M. (1995). Food habits of the Andean fox (*Pseudalopex culpaeus*) and notes on the mountain cat (*Felis colocolo*) and puma (*Felis concolor*) in the Río Abiseo National Park, Perú. *Mammalia*, 59(3), 335-343.

Rudnick R.L. y Fountain D.M. (1995). Nature and composition of the Continental Crust: a lower crustal perspective. Now at Department of Earth and Planetary Sciences, Universidad de Harvard, Cambridge, Massachusetts.

Sagástegui, A. (1976). *Fitogeografía General y del Perú*. Cuarta Edición. Talleres Gráficos de la Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú

Sagástegui, A. y Leiva, S. (1993). *Flora invasora de los cultivos del Perú*. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Primera Edición. Trujillo, Perú.

Shannon, C. E. (1948). A Mathematical Theory of Communication. *Bell System Technical Journal*, 27(3), 379-423

Smith, A. R., Pryer, K. M., Schuettpelz, E., Korall, P., Schneider, H. y Wolf, P. G. (2006). A classification for extant ferns. *Taxon*, 55(3), 705-731.

Semis, L. (2015). Martinete común (*Nycticorax nycticorax*). Recuperado de <https://www.seo.org/ave/martinete-comun/>

Schulenberg, T. S., Stotz, D. F., Lane, D. F., O'Neill, J. P. y Parker III, T. A. (2010). *Aves de Perú*. Serie Biodiversidad Corbidi 01. Centro de Ornitología y Biodiversidad-CORBIDI. Lima, Perú.

Sielfeld, W. (1990) Características del hábitat de *Lutra felina* (Molina) y *L. provocax* (Thomas) (Carnivora: Mustelidae) en Fuego-Patagonia. *Investigaciones Científicas y Tecnológicas, Serie Ciencias del Mar*, 1, 30-36.

Sielfeld, W. y Castilla, J. C. (1999). Estado de conservación y conocimiento de las nutrias en Chile. *Estudios oceanológicos*, 18, 69-79.

Silver, S. (2004). *Estimando la abundancia de jaguares mediante trampas-cámara*. Wildlife Conservation Society, Nueva Cork.

Soberón, J. y Llorente, J. (1993). The use of species accumulation functions for the prediction of species richness. *Conservation biology*, 7, 480-488.

Sokal, R. R. (1958). A statistical method for evaluating systematic relationships. *University of Kansas Science Bulletin*, 28, 1409-1437.

Stotz, D. F., Fitzpatrick, J. W., Parker, T. A. y Moskovits, D. K. (1996). *Neotropical birds: ecology and conservation*. Chicago, EE.UU. Chicago University Press.



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

- Terneus, E., Racines, M. J., & Hernández, K. (2012). Evaluación Ecológica del Río Lliquino a Través de Macroinvertebrados Acuáticos, Pastaza–Ecuador. *Revista de Ciencias*, 16, 31-45.
- Tobler, M. (2013). Camera Base. User guide. (version 1.6) [Software] Recuperado de <http://www.atriumbiodiversity.org/tools/camerabase/files/CameraBaseDoc1.7.pdf>
- Tovar, O. (1993). Las gramíneas (Poaceae) del Perú. *Ruizia*, 13, 480 p.
- Uetz, P., Freed, P. y Hošek, J. (Eds.) (2019) *The Reptile Database*. Recuperado de <http://www.reptile-database.org>
- Ugarte, J. (2018). La nutria marina (*Lontra felina*) en los andes del sur del Perú. *Asociación para la conservación y el Desarrollo Sostenible Sallqa Perú*. Poster.
- Valqui, T. (2006). *Perú. Edén natural de aves*. Editorial Graph & Consult. Lima. Perú.
- Venturelli, G., Frangipane, M., Weibel, M. & Antiga, D. (1978). *Trace element distribution in the Cainozoic lavas of Nevado Coropuna and Andagua Valley, Central Andes of Southern Peru*. *Bull. Volcanol.* 41 (3): 213-228
- Villamarín, C., Prat, N., & Rieradevall, M. (2014). Caracterización física, química e hidromorfológica de los ríos altoandinos tropicales de Ecuador y Perú. *Latin american journal of aquatic research*, 42(5), 1072-1086.
- Villarreal, H., Álvarez, M., Córdoba, S., Escobar, F., Fagua, G., Gast, F., Mendoza, H., Ospina, M. y Umaña, M. (2006). *Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Programa de inventario de biodiversidad*. Instituto de investigación de recursos biológicos Alexander Von Humboldt. Bogotá, Colombia.
- Villegas, L., Caballero, K. y Luque, C. (2017). *Fauna Silvestre de las Lomas de Atiquipa*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Editorial UNSA, Perú.
- Vogel, S. (1996). *Life in moving fluids: the physical biology of flow*. Princeton University Press
- Wallace, R. B. (1999). Transectas lineales: Recomendaciones sobre diseño, práctica y análisis. En L. Painter, D. Rumiz, D. Guinart, R. Wallace, B. Flores y W. Townsend (Eds.). *Técnicas de Investigación para el Manejo de Fauna Silvestre* (pp. 1-12). Santa Cruz de la Sierra, Bolivia.
- Walton, N.R.G. (1989). Electrical Conductivity and total dissolved solids-what is their precise relationship?. *Desalination*, 72, 275-292.
- Weberbauer, A. (1945). *El Mundo Vegetal de los Andes Peruanos. Estudio Fitogeográfico*. Ministerio de Agricultura. Lima. Perú.
- Weibel, M. & Fejér, Z. (1977). *El Nevado Coropuna, departamento de Arequipa*. Boletín de la Sociedad Geológica del Perú, 57-58: 87-98.
- Wetzel, R. G. (2001). *Limnology: lake and river ecosystems*. gulf professional publishing.
- Whittaker, R. (1975). *Communities and Ecosystems*. Macmillan Publishing Co., Inc, New York.



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

Wilson, J. J. & García, W. (1962). *Geología de los cuadrángulos de Pachía y Palca*. Bol. N.º 4, Serie A: Carta Geológica Nacional. pp. 81.

Weller, M. W. (1999). *Wetland Birds: Habitat Resources and Conservation Implications*. New York. Cambridge University Press.

Zeballos, H., Pacheco, V. y Baraybar, L. (2001). Diversidad y Conservación de los Mamíferos de Arequipa, Perú. *Revista Peruana de Biología*, 8, 94-104.

Zeballos, H., López, E. Villegas, L., Milón, P. y Gutiérrez, R. (2002). Distribución de los reptiles de Arequipa, sur del Perú. *Dilloniana*, 2(1), 27-34.

Zeballos, H., Medina, C., Pino, K., Mejía Ríos, A. y Pari, A. (2012). La liebre europea *Lepus europaeus* (Lagomorpha: Leporidae) una especie invasora en el Perú. *Revista Peruana de Biología*, 19, 267-273.

Zilli, F. L., Montalto, L., & Marchese, M. R. (2008). Benthic invertebrate assemblages and functional feeding groups in the Paraná River floodplain (Argentina). *Limnologica*, 38(2), 159-171.

Zúñiga, M. del C. Molineri, C. y Domínguez, E. (2004). El Orden Ephemeroptera en Colombia. p. 17-41. *En: Roldan, 2016. Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat.* 40(155):254-274.



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

SSIM: Subdirección de Sitios
Impactados

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

Anexos

Evaluación ambiental temprana en el área de influencia del proyecto central hidroeléctrica laguna azul de la empresa Central Hidroeléctrica Mamacocha S.R.L., durante el 2018 y 2019