

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

ESCUELA DE POSGRADO



EVALUACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LA CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL EN EL
CENTRO POBLADO DE SACSAMARCA, REGIÓN AYACUCHO, PERÚ

Tesis para optar el grado de Magister en Química que presenta

MIGUEL AUGUSTO MENDOZA FUENTES

Asesora:

Dra. NADIA ROSA GAMBOA FUENTES

JURADO:

Dr. CARLOS TAVARES CORRÊA

Dra. PATRICIA MORALES BUENO

Mayo, 2018

“Parece que el agua fluye en dirección al poder, acumulándose muchas veces en manos de unos cuantos usuarios dominantes en sectores favorecidos, quienes suelen estar más interesados en convertirla en un beneficio inmediato, en lugar de considerar las consecuencias sobre el ambiente y la salud a largo plazo. La distribución injusta del agua se manifiesta no solo en términos de pobreza, sino que también constituye una grave amenaza para la seguridad alimentaria y la sostenibilidad ambiental”.

Rutgerd Boelens, Leontien Cremers y Margreet Zwarteveen; “Justicia hídrica: Acumulación, conflicto y acción social”, 2011

“Nos olvidamos que el ciclo del agua y el ciclo de la vida son uno mismo”.

Jacques Yves Cousteau

“Es un error capital teorizar antes de poseer datos. Insensiblemente, uno comienza a deformar los hechos para hacerlos encajar en las teorías, en lugar de encajar las teorías en los hechos”.

Sir Arthur Conan Doyle, “Escándalo en Bohemia”, 1891

“La libertad no consiste en una soñada independencia respecto de las leyes naturales, sino en el reconocimiento de esas leyes y en la posibilidad, así dada, de hacerlas obrar según un plan para determinados fines (...). La libertad consiste, pues, en el dominio sobre nosotros mismos y sobre la naturaleza exterior, basado en el conocimiento de las necesidades naturales; por eso es necesariamente un producto de la evolución histórica”.

Friedrich Engels, “Anti-Dühring”, 1878

RESUMEN

Sacsamarca, región Ayacucho, es un distrito de extrema pobreza, con deficiencias en la vigilancia de la calidad de aguas. Su población manifiesta genuino interés ante la frecuencia de enfermedades estomacales y por el inadecuado tratamiento de sus aguas residuales. El objetivo de la presente investigación es evaluar la calidad del agua superficial empleada para consumo humano en este centro poblado, a través de algunos indicadores fisicoquímicos, relacionando la gestión del agua y la comprensión del ciclo hidrológico. El monitoreo de calidad de agua se realiza en junio y setiembre del 2017, y se establecen ocho estaciones de muestreo -dispuestas en el río Caracha, reservorio y efluente de la poza de tratamiento del pueblo, puquial y laguna Uerpococcha- para mediciones *in situ* y toma de muestras. Los parámetros medidos en campo son temperatura, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales y pH; en laboratorio se analizan demanda química de oxígeno, sólidos totales, fosfatos, nitratos, sulfatos, y metales totales (arsénico, cadmio, calcio, cobre, hierro, magnesio, mercurio, plomo, potasio, sodio y zinc). Se aplican técnicas estandarizadas volumétricas, gravimétricas e instrumentales, como espectroscopías UV-Visible y de absorción atómica. Los resultados indican que todos los parámetros estudiados no sobrepasan los límites correspondientes establecidos, con excepción de fosfatos (1,51 ppm) en el puquial, y arsénico (0,13 ppm) en el río Caracha. Finalmente, se aplica el marco DPSIR que es un enfoque que integra las características ambientales y sociales y permite ubicar los valores fisicoquímicos hallados en el sistema hidrosocial de Sacsamarca. El resultado de este marco resulta en ausencia de vigilancia de las aguas superficiales y la falta de coordinación con instancias institucionales superiores para revertir los altos niveles de arsénico en el río Caracha.

ABSTRACT

Sacsamarca, Ayacucho region, is a district of extreme poverty with water quality monitoring insufficiency. Its population shows genuine interest because stomach diseases frequency and inadequate wastewater treatment. The aim of this research is to assess quality of freshwater that is used for human consumption in this village, by means of some physicochemical indicators, relating water management and hydrological cycle understanding. The freshwater quality monitoring is carried out in June and September 2017, and eight sampling stations are set up -disposed in Caracha River, reservoir and effluent of the wastewater treatment pond, freshwater spring (*puquia*) and Uerpococcha Lagoon - for *in situ* measurements and sampling. Parameters measured in the field are temperature, electrical conductivity, total dissolved solids and pH; in the laboratory chemical oxygen demand, total solids, phosphates, nitrates, sulfates, and total metals (arsenic, cadmium, calcium, copper, iron, magnesium, mercury, lead, potassium, sodium and zinc) are analyzed. Standardized volumetric, gravimetric and instrumental techniques are applied, such as UV-Visible and atomic absorption spectroscopy. The results indicate that all parameters studied do not exceed the established limits, except for phosphates (1.51 ppm) in the *puquia*, and arsenic (0.13 ppm) in the Caracha River. Finally, DPSIR framework, an approach that integrates environmental and social characteristics and allows locating the physicochemical values found in the hydrosocial system of Sacsamarca is applied. It results in absence of surveillance of freshwater waters and lack of coordination with higher institutional organizations to reverse high levels of arsenic in Caracha River.

RESUMEN EN QUECHUA

Ayacucho suyupim Sacsamarca llaqta kachkan, kay llaqtapiqa ancha wakcha muchuyta atipasqan kanku, chaynallatami yakunpas manan chuya upyanapaq hinachu, kamachiqninkupas manas allintaqa qawapayanchu chuya yakunku kananta. Kay mana allin chuya yakunkuna kaptinmi runankuna wiksa ima nanaykunawan atipan unqurparinkunñataq. Chayraykum kay Proyecto de investigación nisqan upyana yaku qawanpi kaq “superficial” qawanqa allin kamachikuyninpi kananta, imayna tarikun calidad de Agua nisqan, chaypaqsi ñawinchaynin indicadores fisicoquímicos, allinta umanchana imaynatam yakunchik muyurin chay ciclo hidrológicopi nisqanpipas. Kay qawariykuna ruwakunqa intiraymi (Aymuray) – yakuraymi killakunapim apakunqa 2017 watapi, chaynallataqmi 8 estaciones de muestreo nisqan churakunqa Caracha mayupi, yaku huñuna pukupim, poza de tratamientopim, chaynallataq pukuyupi, Uerpococchapi – llapan yaku uqariykuna ruwakunqa sapankama estación nisqapi. Llapan chimpuykuna (indicadores fisicoquímicos) kanqa: yaku quñiyin qawana (temperatura), conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, pH nisqa; wakin chimpuykuna demanda química de oxígeno, sólidos totales, fosfatos, nitratos, sulfatos, y metales totales (arsénico, cadmio, calcio, cobre, hierro, magnesio, mercurio, plomo, potasio, sodio y zinc) nisqa ruwakunqa Laboratorio wasipi. Llapan chimpuykuna apakunampaq kay técnicas estandarizadas volumétricas, gravimétricas e instrumentales, chay espectroscopías UV-Visible y de absorción atómicakunawan ruwanqaku. Resultados nisqa chimpuykuna ruwasqanmanta yachakun kayta; manas llumpaychu upyana yakupi imankuna kasqan, ñataq fosfatokuna chimpuyinpi (1,51 ppm) pukuyupi, chaynallataq arsénico nisqa (0,13 ppm) pisilla Caracha mayupi rikurin. Tukupanapaq nisaq kay marco DPSIR yanapakuyninwan Sacsamarca llaqtatam allinta yaku usuyninta apakunqa chay características ambientales y sociales nisqanwan imayna kachkan chaninchaq fisicoquímicos sistema hidrosocial nisqanpim. Hinallataq tarikun mana allin yaku kamachiqninkuna qawariyninpi, chayraykum allin yaku kanampaq Sacsamarca kamachiq llamkaqninku kуска wichay autoridad nisqawan chay Arsenico nisqa unumanta chinkanapaq.

AGRADECIMIENTOS

Primero quiero agradecer a mi familia por motivarme. A mi hermana, por soportar y entender mi forma de trabajo. A mi madre, por ser el ejemplo que guía todos mis principios hasta la victoria, siempre.

Gracias a mi asesora, la Dra. Nadia Gamboa Fuentes, por su visión interdisciplinaria sobre los estudios ambientales, por sus consejos y críticas para el desarrollo del trabajo, por su aprecio y confianza en mí para retar al Perú con una pregunta de investigación e intentar responderla. Yo creo que lo logramos.

Gracias a la comunidad de Sacsamarca, por permitirme realizar este trabajo. Gracias por su hospitalidad. Una mención especial a Juan Pablo Huaccachi, ex presidente de la comunidad, por su apoyo y el aprender recíproco. Y gracias a la señora Clarissa por su delicioso soporte diario.

Gracias a Ruth Nevado, Alicia Alfaro, Cynthia Del Castillo, María Teresa Rodríguez y todo el equipo que, desde la DARS, estuvo siempre a disposición de brindar su acompañamiento y soporte logístico. Su guía y labor en la comunidad han sido muy importantes para poder desarrollar mi investigación.

Gracias a mis amigos Miki Gonzales, Erika Calla, Rafael Valencia, Luis Laura y Alonso Guerrero, por haber compartido conmigo esta aventura de la maestría, y dejarme aprender de sus variados conocimientos que aportaron a fortalecer los míos. Gracias también a Lorena, Carlos y Marvín.

Gracias a los que me apoyaron en las travesías a Sacsamarca, a Christian Murga, Carolina García, Paulo Corrêa, Carlos Ramírez y al profesor Carlos Tavares. Su apoyo y compañía han sido muy valiosos para la realización de este trabajo. Muy agradecido de ustedes.

Gracias a la profesora Carmen Cazorla Zen y a Miki Gonzales por ayudar con el resumen en quechua ayacuchano, como una señal de acercamiento a la población local.

Gracias al grupo GRIDES, por el material de trabajo, las facilidades con el uso de equipos para poder hacer todos los análisis requeridos.

Gracias a la Dra, Patricia Morales, directora de la maestría, por las facilidades, y a la sección Química (PUCP), a Milka Cajahuanca, Francisco Huamán, Gilmer Barrantes, Zenobia Paredes por toda su ayuda.

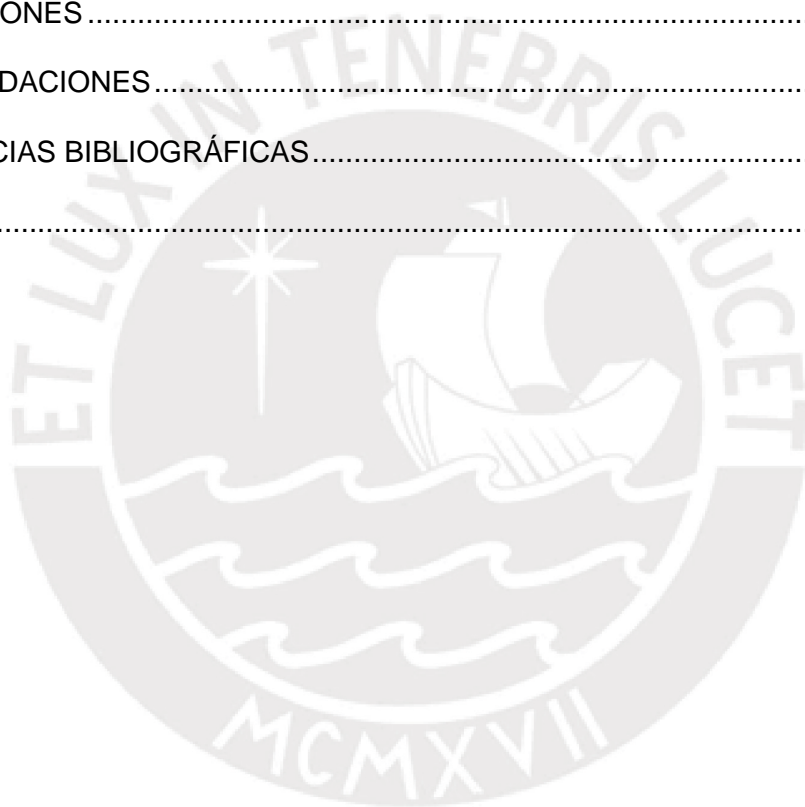
Finalmente, muchas gracias a CONCYTEC por brindarme la beca integral para financiar mis estudios de maestría, lo cual tomo como una oportunidad de devolverle a mi país todo lo aprendido, y poder ayudar a mejorar la calidad del ambiente y de vida de la gente.

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Formulación del problema de investigación.....	3
1.2 Objetivos	4
1.2.1 Objetivo general.....	4
1.2.2 Objetivos específicos.....	4
2. MARCO TEÓRICO	5
2.1 Descripción del área de estudio	5
2.1.1 Aspecto geográfico.....	5
2.1.2 Aspecto socio económico.....	11
2.2 Calidad del agua	14
2.2.1 Concepto de calidad de agua	14
2.2.2 Parámetros de evaluación de calidad de agua.....	16
2.3 Recursos hídricos en el Perú.....	21
2.4 Del ciclo hidrológico al ciclo hidrosocial	26
2.4.1 Ciclo hidrológico	26
2.4.2 Sistema socioecológico y flujos de agua	29
2.4.3 Ciclo hidrosocial	31
3. METODOLOGÍA.....	34
3.1 Diseño de plan de monitoreo.....	34
3.1.1 Frecuencia de muestreo.....	34
3.1.2 Estaciones de muestreo	34
3.1.3 Elección de parámetros.....	43
3.1.4 Toma y preservación de muestras	44

3.2	Análisis de parámetros fisicoquímicos	45
3.2.1	Mediciones de parámetros <i>in situ</i>	45
3.2.2	Metodologías analíticas	46
3.3	Enfoque DPSIR.....	51
4.	RESULTADOS	55
4.1	Parámetros <i>in situ</i>	55
4.1.1	Temperatura y pH	55
4.1.2	Conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales.....	55
4.2	Parámetros fisicoquímicos.....	57
4.2.1	Fosfatos	57
4.2.2	Nitratos.....	57
4.2.3	Sulfatos.....	58
4.2.4	Sólidos totales	59
4.2.5	Demanda química de oxígeno.....	59
4.2.6	Metales.....	60
5.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	67
5.1	Diagnóstico de la calidad de agua: Análisis fisicoquímico.....	67
5.1.1	Criterios de calidad.....	67
5.1.2	Temperatura y pH	69
5.1.3	Conductividad eléctrica y TDS	72
5.1.4	Sólidos totales	74
5.1.5	Demanda química de oxígeno.....	74
5.1.6	Fosfatos	75
5.1.7	Nitratos.....	76
5.1.8	Sulfatos.....	77

5.1.9 Metales.....	78
5.2 Diagnóstico hidrosocial: Análisis socioecológico	85
5.2.1 Agentes conductores.....	85
5.2.2 Presiones	86
5.2.3 Estado.....	87
5.2.4 Impactos.....	87
5.2.5 Respuestas.....	90
6. CONCLUSIONES	92
7. RECOMENDACIONES.....	93
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	94
9. ANEXOS.....	102



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa político de Sacsamarca.....	5
Figura 2. Mapa de ubicación altitudinal de Sacsamarca.....	6
Figura 3. Precipitación mensual 2017 de la estación Huancasancos.....	7
Figura 9. Mapa de las Autoridades Administrativas del Agua.....	23
Figura 10. Distribución del agua en el planeta.....	26
Figura 11. Ciclo hidrológico.....	27
Figura 12. Balance de agua global.....	28
Figura 13. Sistema socioecológico.....	30
Figura 14. Esquema de organización del flujo de agua en los sistemas socioecológicos.....	31
Figura 15. Interacción de los factores sociales e hidrológicos y su influencia en la disponibilidad del recurso hídrico.....	32
Figura 16. Estaciones de monitoreo en el sistema hidrosocial de Sacsamarca.....	36
Figura 17. Estación de monitoreo E1.....	37
Figura 18. Estación de monitoreo E2.....	38
Figura 19. Estación de monitoreo E3.....	38
Figura 20. Estación de monitoreo E4.....	39
Figura 21. Poza de oxidación en reparación.....	40
Figura 22. Estación de monitoreo E5.....	40
Figura 23. Estación de monitoreo E6.....	41
Figura 24. Estación de monitoreo E7.....	42
Figura 25. Estación de monitoreo E8.....	43
Figura 26. Determinación de sólidos totales.....	48
Figura 27. Determinación de DQO.....	49
Figura 28. Esquema general del marco DPSIR para agua.....	52
Figura 29. Análisis de flujos de agua en Sacsamarca.....	54

Figura 30. Temperatura correspondiente a las dos campañas de muestreo	69
Figura 31. pH correspondiente a las dos campañas de monitoreo.	71
Figura 32. Conductividad correspondiente a las dos campañas de monitoreo	73
Figura 33. Sólidos totales disueltos correspondiente a las dos campañas de monitoreo.	73
Figura 34. Sólidos totales correspondiente a las dos campañas de monitoreo.....	74
Figura 35. Demanda química de oxígeno correspondiente a las dos campañas de monitoreo.	75
Figura 36. Fosfatos correspondientes a las dos campañas de monitoreo.	76
Figura 37. Nitratos correspondientes a las dos campañas de monitoreo.....	77
Figura 38. Sulfatos correspondientes a las dos campañas de monitoreo.	78
Figura 39. Calcio correspondiente a las dos campañas de monitoreo.....	79
Figura 40. Magnesio correspondiente a las dos campañas de monitoreo.	80
Figura 41. Sodio correspondiente a las dos campañas de monitoreo.....	81
Figura 42. Potasio correspondiente a las dos campañas de monitoreo.....	81
Figura 43. Hierro correspondiente a las dos campañas de monitoreo	82
Figura 44. Zinc correspondiente a las dos campañas de monitoreo.	83
Figura 45. Plomo correspondiente a las dos campañas de monitoreo.....	84
Figura 46. Arsénico correspondiente a las dos campañas de monitoreo.....	85
Figura 47. Contaminación en el puquial.....	89
Figura 48. Eutrofización de la laguna de Uerpoccocha	89
Figura 49. Marco DPSIR del agua en Sacsamarca	91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. PEA por actividad en el distrito de Sacsamarca.....	14
Tabla 2. Procesos naturales importantes que afectan la calidad del agua.....	15
Tabla 3. Parámetros de la categoría 3 de los ECA para agua.....	17
Tabla 4. Distribución de los recursos hídricos en el territorio peruano	22
Tabla 5. Efecto e impacto del cambio climático sobre la disponibilidad de agua	25
Tabla 6. Estaciones de muestreo.....	35
Tabla 7. Requisitos para toma de muestras de agua y su preservación	45
Tabla 8. Métodos analíticos aplicados	46
Tabla 9. Lista de reactivos.....	47
Tabla 10. Lista de equipos e instrumentos.....	48
Tabla 11. Resultados de los parámetros medidos in situ.....	56
Tabla 12. Concentraciones de fosfatos.....	57
Tabla 13. Concentraciones de nitratos.....	58
Tabla 14. Concentraciones de sulfatos	58
Tabla 15. Concentraciones de sólidos totales.....	59
Tabla 16. Concentraciones de demanda química de oxígeno.....	60
Tabla 17. Límites de detección y cuantificación para el análisis de metales	61
Tabla 18. Concentraciones de calcio y magnesio.....	62
Tabla 19. Concentraciones de sodio y potasio.	63
Tabla 20. Concentraciones de cobre, hierro y cadmio.....	64
Tabla 21. Concentraciones de plomo y zinc	65
Tabla 22. Concentraciones de arsénico y mercurio	66
Tabla 23. Criterios de calidad del agua.....	68
Tabla 24. pH registrado en la laguna	71

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

AAS	atomic absorption spectroscopy (espectroscopía de absorción atómica)
APHA	American Public Health Association, USA (Asociación Estadounidense de Salud Pública)
ANA	Autoridad Nacional del Agua, Perú
CE	conductividad eléctrica
CVR	Comisión de la Verdad y Reconciliación, Perú
DARS	Dirección Académica de Responsabilidad Social
DIGESA	Dirección General de Salud Ambiental, Perú
DPSIR	driver, pressure, state, impacts and response
DQO	demanda química de oxígeno
ECA	estándar de calidad ambiental
EPA	Environmental Protection Agency, USA (Agencia de Protección Ambiental)
FIAS	flow injection for atomic spectroscopy (espectroscopía atómica por inyección en flujo)
GPS	global positioning system (sistema mundial de posicionamiento)
HG-AAS	espectroscopía de absorción atómica con generación de hidruros
INEI	Instituto Nacional de Estadística e Informática, Perú
INGEMMET	Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Perú
km	kilómetro
km ²	kilómetro cuadrado
LMP	límite máximo permisible
MINAGRI	Ministerio de Agricultura y Riego, Perú
MINAM	Ministerio del Ambiente, Perú
MINSA	Ministerio de Salud, Perú
MVCS	Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, Perú
m s. n. m.	metros sobre el nivel del mar

OEFA	Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental
PEA	población económicamente activa
PUCP	Pontificia Universidad Católica del Perú
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, Perú
ST	sólidos totales
TDS	sólidos totales disueltos
UTM	Universal Transverse Mercator (Universal Transversal de Mercator)
UV	Ultravioleta
UV-Vis	ultravioleta – visible



1. INTRODUCCIÓN

El concepto de calidad de agua, inicialmente asociado solo a la utilización para el consumo humano, se ha ido ampliando con el tiempo a distintos usos y aplicaciones del recurso hídrico. Es así que, dependiendo de si el agua es usada para actividades productivas, el consumo humano o la preservación del ecosistema, se deben considerar diferentes aspectos físicos, químicos y biológicos para su evaluación. La calidad de los recursos hídricos superficiales está influenciada por diversos factores como: procesos geomorfológicos, ciclo hidrológico, elementos físicos, químicos y biológicos de carácter natural, así como actividades poblacionales y productivas que modifican sus características. Todas influyen de manera directa con la capacidad de autodepuración y dilución de los cuerpos naturales de agua superficial. (1)

En el artículo 31° de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente (2005), están definidos los estándares de calidad ambiental (ECA) como “la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente” (2), y el D.S. N° 004-2017-MINAM establece la última modificatoria de los ECA para agua (3). Por otro lado, en el año 2011 el Ministerio de Salud (MINSAL) estableció, bajo el DS N° 031-2010-SA, el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano, donde se define que el agua apta para consumo humano incluye todo uso doméstico habitual y la higiene personal. Así mismo, este reglamento presenta los lineamientos de la gestión de la calidad del agua para consumo y los límites máximos permisibles (LMP) de una serie de parámetros. (4)

A pesar de la existencia de un marco normativo peruano sobre la calidad del agua, la realidad es otra para la población. Hasta el año 2016, según reporte del INEI, 67,1% contaba con abastecimiento de agua potable por red pública, 32,9% con agua no potable accesible por red pública u otras formas, y solo 72,6% presentaba red pública de alcantarillado. En ambos casos, las deficiencias eran mayores en el área rural (5). La infraestructura de ingreso y salida de agua para el abastecimiento de las ciudades influye directamente en la calidad de los cuerpos de captación y recepción de agua.

El centro poblado de Sacsamarca se encuentra en el distrito del mismo nombre, en la provincia de Huanca Sancos, en la región Ayacucho. El agua llega al centro poblado desde la laguna Uerpoqocha – en el anexo de Asca - y, hasta la construcción del reservorio de agua en 1987, los pobladores tomaban agua de los puquiales. Actualmente, la municipalidad distrital se encarga de la

limpieza del reservorio y de la cloración del agua; así mismo, la población de Sacsamarca manifiesta que sus aguas residuales son tratadas mediante un sistema de pozas de oxidación (6). Según reporte de la OEFA (2014), la municipalidad distrital no ha identificado puntos de vertimiento de aguas residuales y cuenta con dos pozas de oxidación sin autorización de vertimiento de aguas residuales por la autoridad competente (7).

El distrito de Sacsamarca, en Ayacucho, fue uno de los lugares más afectados por el conflicto armado interno de la década de 1980 en el Perú. Desde aquella época, el proceso migratorio de Sacsamarca se ha acentuado, afectando el desarrollo local, haciéndose constante y dejando a Sacsamarca con una población envejecida (8). Según el censo nacional del 2007, el distrito presenta altos niveles de pobreza, con índices de pobreza monetaria de 71,1% y 38,6% de pobreza extrema. El acceso a servicios básicos es bastante precario; muy pocos hogares cuentan con los tres servicios básicos. Alrededor de 94% de la población no tiene agua en la vivienda, y no hay conexión del interior de las viviendas a la red pública de desagüe (9,10). Históricamente, las actividades productivas que se realizan en la comunidad son, principalmente, la agricultura y la ganadería alto andina. (11)

Esta tesis contribuye al proyecto Sacsamarca del área de Desarrollo Social de la DARS-PUCP. Dicha unidad académica desarrolla proyectos de colaboración a largo plazo con comunidades o instituciones, gestionando actividades orientadas a contribuir con el desarrollo humano, económico y social de la comunidad (12). En el marco de dicho proyecto, se realizó una visita exploratoria en el año 2015, y se hicieron algunos análisis a muestras de agua colectadas en el centro poblado. Los resultados arrojaron pH mayor a 7, presencia de sulfato, y se detectaron metales totales: Cu, Fe, Pb, Zn, Al, Ca, Mg, K, Na, en las fuentes muestreadas (agua del hospedaje, el reservorio y el puquial). (6) Si bien fueron resultados preliminares, se despertó preocupación y se hizo evidente la necesidad de mayor análisis, sumado al interés de la población y del centro de salud por conocer la calidad de las aguas usadas en sus actividades cotidianas, y si el efluente de la poza de tratamiento es tratado correctamente sin afectar al río Caracha.

No se ha encontrado información de la laguna de Uerpococha en los registros oficiales, como tampoco información sobre la calidad de agua del río Caracha (6), con excepción de un informe de monitoreo ambiental del año 2016 realizado por el gobierno regional de Ayacucho, que mostraba deficiencias en la ubicación y los resultados (13). El gobierno regional volvió a realizar otro monitoreo en el año 2017, pero esta vez no incluyó el área que compete a este estudio (14). Así mismo, se puede considerar que, en materia de calidad de agua, aún se está lejos de cumplir con el sexto Objetivo del Desarrollo Sostenible planteado por la ONU, que propone garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos (15).

Ante la realidad encontrada, se plantea que es necesario levantar información química sobre la calidad del agua superficial en el área alrededor del centro poblado de Sacsamarca y el río Caracha, adyacente a este. De igual manera, es importante relacionar la información química con el contexto social, estableciendo nexos que permitan una mejor toma de decisión a los agentes locales. Se espera así proporcionar información que sea útil para la comunidad en la optimización de la gestión local del agua y la mejora de su calidad de vida.

1.1 Formulación del problema de investigación

Las fuentes de agua superficial son los principales suministros de las poblaciones ubicadas en su área de influencia directa. No obstante, el desarrollo integral de las poblaciones no suele ir acompañado con la disponibilidad del recurso, sino acrecentando las desigualdades en términos de apropiación, uso y calidad de agua. La disponibilidad de agua por persona en el Perú es más de 77 000 m³ por año. Sin embargo, la población ha migrado, principalmente, de la sierra (vertiente del Atlántico) hacia la costa (vertiente del Pacífico), donde la disponibilidad de agua por persona por año baja de 9700 m³ a 2027 m³ respectivamente. Esto ha obligado a importar agua hacia esta última, debido a que la población se ha concentrado en zonas de mayor desarrollo económico, sin considerar la disponibilidad hídrica para el desarrollo urbano. Todo esto es producto de una ausencia de planificación urbana o políticas de ordenamiento territorial (16), lo que ha conseguido, hasta la actualidad, que no se pueda atender con servicios básicos de calidad a toda población.

A lo mencionado anteriormente, se suma la ola migratoria en el Perú, producto del conflicto armado interno (CAI), puesto que las poblaciones rurales encontraron cada vez más difícil permanecer en territorios inseguros como Ayacucho, Apurímac, Huancavelica, Junín, Huánuco, Ancash, Pasco, Cusco o Puno (17). Otro factor a considerar es la gestión del agua, que tiene una estructura nacional que difiere de la político-administrativa, lo que aún dificulta a los municipios el trabajo conjunto e integral dentro de una misma cuenca. De ahí que son vitales los procesos participativos que legitimen las acciones del Estado en la gobernanza del agua a nivel de cuencas (16) y que la calidad y cantidad del agua se deben al dinamismo del ciclo hidrológico en la cuenca hidrográfica.

El problema de investigación que se plantea aquí es que el centro poblado de Sacsamarca, en Ayacucho, tiene una historia de conflictividad social que ha promovido sucesivas migraciones de la población joven, dejando al centro poblado con un precario desarrollo social. Como consecuencia de esto, se observa baja calidad de vida de la población, deficiente acceso a servicios básicos, e inadecuado cuidado del recurso hídrico. Ante lo expuesto surge la siguiente pregunta de investigación: ¿la calidad del agua superficial que usa la población de Sacsamarca es adecuada para garantizar la salud ambiental en el área del centro poblado?

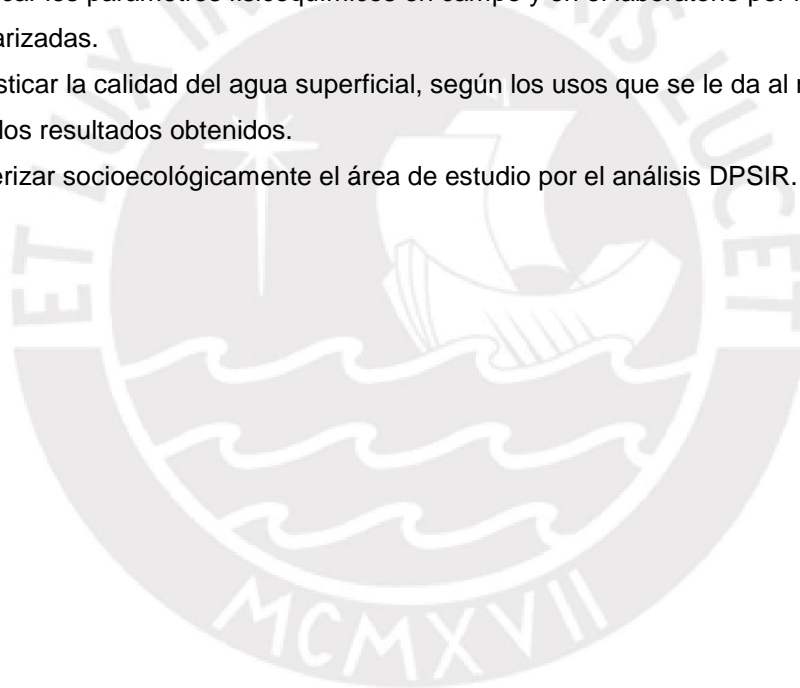
1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Evaluar la calidad de agua superficial alrededor del centro poblado de Sacsamarca (Ayacucho, Perú) mediante un análisis fisicoquímico para determinar si el estado actual del recurso cumple con los estándares de calidad para garantizar la salud ambiental y la salud pública en la zona. El objetivo de la presente investigación es evaluar la calidad del agua superficial empleada para consumo humano en este centro poblado, a través de algunos indicadores fisicoquímicos, relacionando la gestión del agua y la comprensión del ciclo hidrológico.

1.2.2 Objetivos específicos

- Diseñar el plan de monitoreo de la calidad de agua superficial *ad hoc* al área de estudio con parámetros prioritarios seleccionados.
- Cuantificar los parámetros fisicoquímicos en campo y en el laboratorio por metodologías estandarizadas.
- Diagnosticar la calidad del agua superficial, según los usos que se le da al recurso, en base a los resultados obtenidos.
- Caracterizar socioecológicamente el área de estudio por el análisis DPSIR.



2. MARCO TEÓRICO

2.1 Descripción del área de estudio

2.1.1 Aspecto geográfico

El distrito de Sacsamarca se encuentra ubicado en la región Ayacucho, en la zona este de la provincia de Huanca Sancos, a $13^{\circ} 56' 47''$ latitud sur y $78^{\circ} 18' 54''$ longitud oeste, entre los 2850 y 4800 metros sobre el nivel del mar, con una extensión superficial de 1206,63 km². El distrito de Sacsamarca, creado el 11 de noviembre de 1961 por la Ley 13719, incluye cuatro anexos, o centros poblados menores, los cuales son: Asca, Colcabamba, Pallica y Putaccasa. La capital del distrito es el centro poblado de Sacsamarca, que se encuentra a 10 kilómetros de la capital provincial, Huanca Sancos. El distrito de Sacsamarca limita por el norte con el distrito de Carapo, por el noreste con la provincia de Víctor Fajardo, por el oeste con el distrito de Sancos y por el sur con la provincia de Lucanas (ver figuras 1 y 2) (8,9,18).

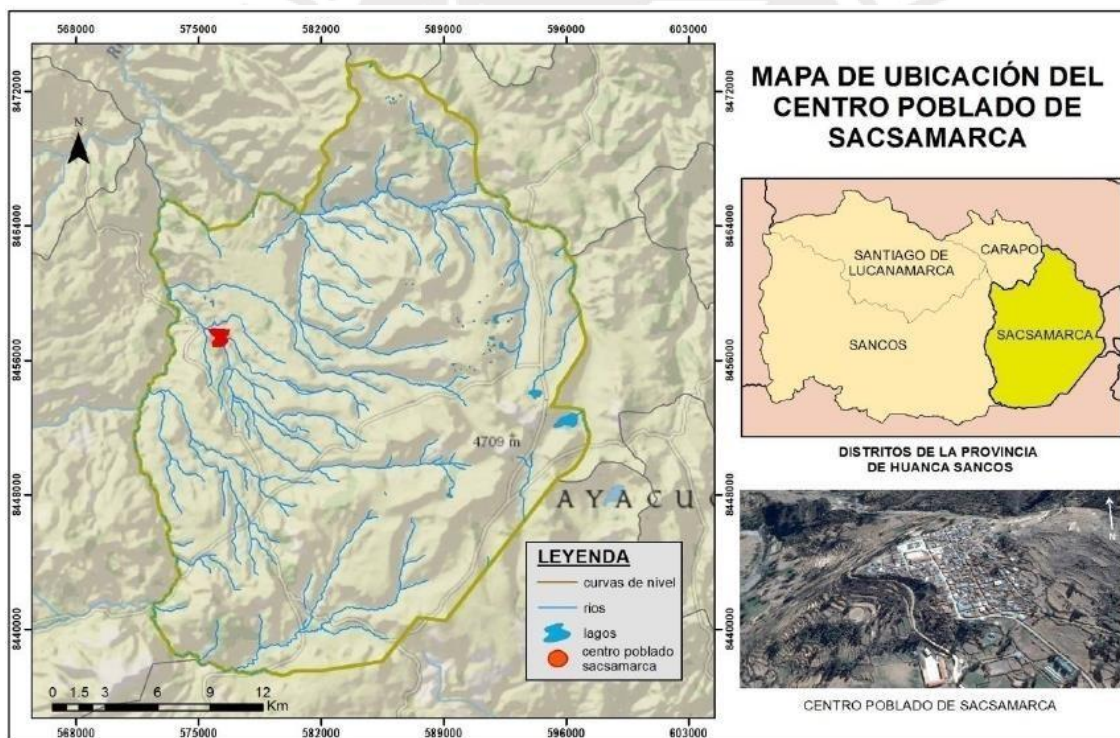


Figura 1. Mapa político de Sacsamarca (6).

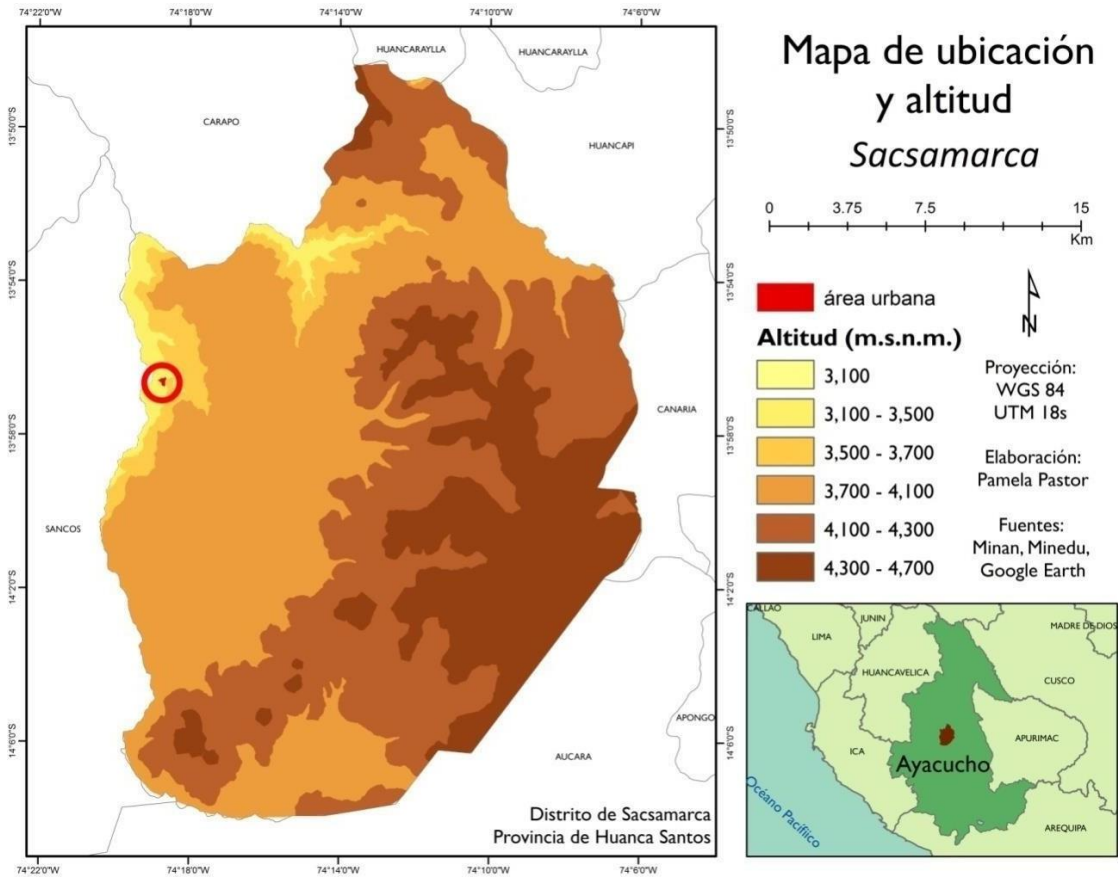


Figura 2. Mapa de ubicación altitudinal de Sacsamarca (6).

El clima en el distrito de Sacsamarca es templado y cálido, y presenta un invierno con mucho menos lluvia que en verano (el clima se considera Cwb, según la clasificación del sistema Köppen-Geiger). En Sacsamarca, la temperatura media anual es de 10.3 °C con una variación anual de 3.2 °C. Presenta un promedio de 11.3 °C en enero, que es el mes más cálido, y un promedio de 8.1 °C en el medio de julio, que es el mes más frío. Mientras la precipitación es de 717 mm al año con una variación de 177 mm entre el mes más seco (junio) y el más húmedo (marzo) (19).

La estación meteorológica más cercana al centro poblado de Sacsamarca se encuentra en la ciudad de Huanca Sancos (Estación pluviométrica Huancasancos - 156218), la cual brinda información sobre la precipitación y la temperatura de la zona. Adicionalmente, en la zona sur del distrito, en el anexo de Putaccasa, se encuentra otra estación pluviométrica (Putaccasa - 157204), no operativa a la fecha (20). El área sigue el patrón de los Andes peruanos, caracterizado por la alternancia de la estación seca (abril a noviembre) a la estación húmeda (diciembre a marzo).

En la figura 3, se muestran los registros del año 2017 de la estación pluviométrica de Huanca Sancos (latitud 13° 55' 1", longitud 74° 20' 1", altitud 3440 m s. n. m.), que se ubica en la ciudad del mismo nombre y a 10 km, aproximadamente, del centro poblado de Sacsamarca. Los datos tomados del Senamhi muestran dos mediciones, una por la mañana (07:00 horas) y otra por la noche (19:00 horas) (20). Así mismo, en la figura 3, se puede apreciar el comportamiento del caudal histórico (1970-2008) del río Caracha. (21)

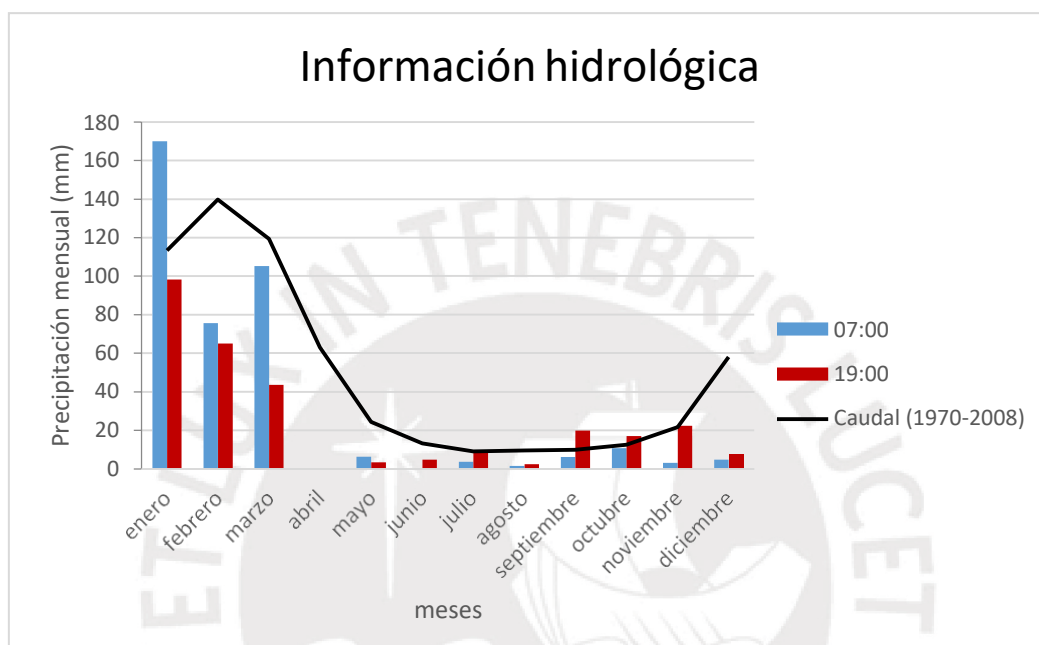


Figura 3. Precipitación mensual 2017 de la estación Huancasancos (20,22).

La subcuenca del río Caracha, así como las otras subcuencas en la cuenca del Pampas, tiene clima seco. En la figura 4, se puede observar como el área de la subcuenca recibe la mayor precipitación en los meses de enero, febrero y marzo, a diferencia de la evapotranspiración que es casi constante, alrededor de 110 mm en el año. En la figura 5, se muestra la temperatura en la subcuenca, donde las temperaturas más bajas se dan en los meses de junio y julio. Las figuras 4 y 5 muestran las series mensuales generadas comprendidas en el período 1960 – 1990 (21) .

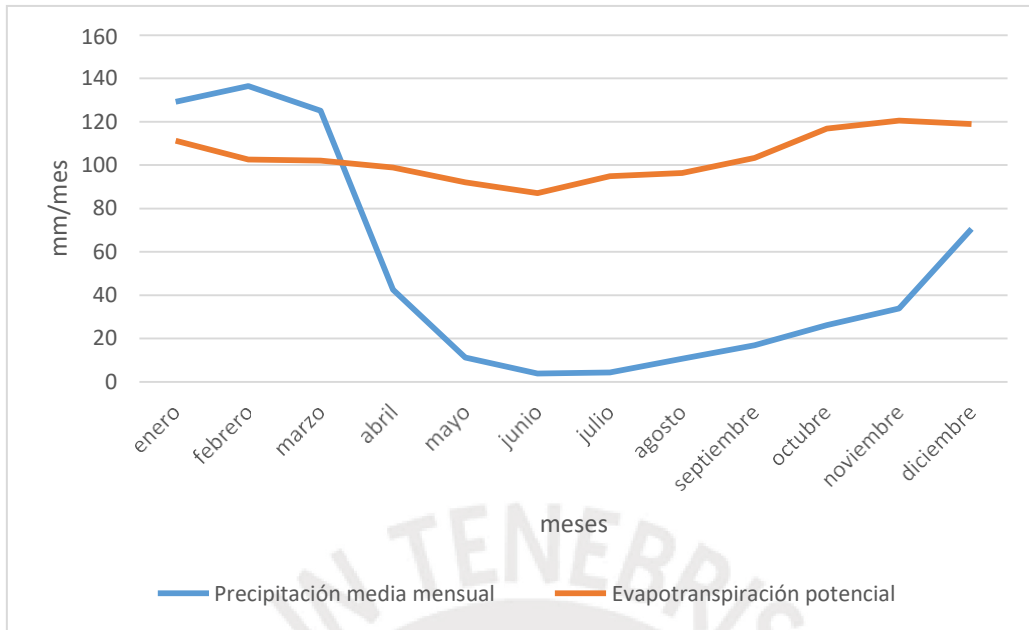


Figura 4. Precipitación media mensual y evapotranspiración potencial anual en la subcuenca del río Caracha (21).

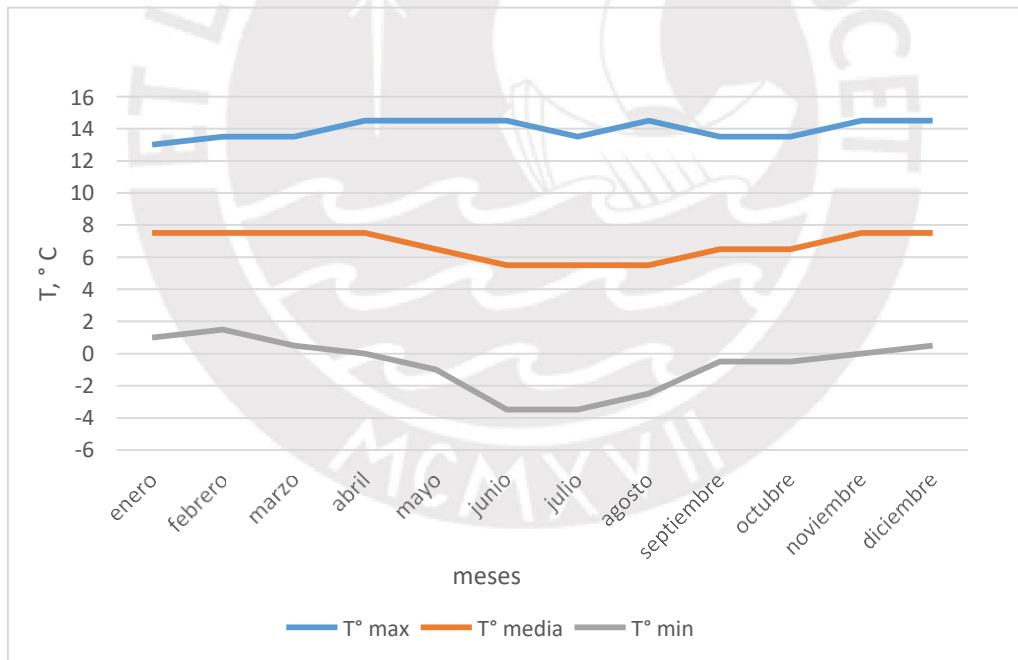


Figura 5. Temperaturas mínima, media y máxima anual en la subcuenca del río Caracha (21).

El río Caracha es uno de los principales ríos en el distrito de Sacsamarca y recorre la zona noreste sirviendo de límite con el distrito de Sancos (figura 6) (6). La laguna de Uerpoccocha, que suministra agua potable a la comunidad de Sacsamarca y al anexo de Asca, no se encuentra en los registros del MINAM o la ANA.

El distrito de Sacsamarca está ubicado en el subespacio central de la región Ayacucho; presenta una geografía compleja conformada por vertientes pronunciadas y valles interandinos, influenciada también por la cordillera Central, predominando el relieve montañoso. Cerca de 85% de las tierras sacsamarquinas se encuentra en la región puna, 10% en la región suni y 5% en la región quechua. El distrito presenta formas de relieve tipo Vs1-e (vertiente montañosa y colina empinada a escarpada) y tipo Vs2-e (vertiente montañosa empinada y escarpada). Si bien este escenario brinda una diversidad de pisos ecológicos y zonas de vida, dificulta la integración vial del espacio provincial. El relieve provincial de Huanca Sancos y, por ende, de Sacsamarca, presenta fuertes dificultades para la integración vial y el asentamiento de los centros poblados que se encuentran dispersos en el territorio provincial (23,24).

Con respecto a la subcuenca del río Caracha, esta tiene un área superficial (drenaje y recepción) de 4235,8 km² hasta su desembocadura en el río Pampas, en su margen derecha. Junto con las subcuencas de los ríos Alto Pampas, Jatunmayo, Chicha, Torobamba y Medio Pampas, conforma la cuenca del río Pampas. El río Caracha drena en la vertiente del Atlántico y recibe el aporte de varios ríos como: Hellomayo, Iñipaclla, Huancasancos, Ccellocruz, Pucapuca, Churmi, Lucanamarca, Yanacolpa y Paliza, y quebradas como: Negromayo, Mistipsaman, Yanocolpa, Osno, Sora, Pachachaca, Huayllapata y Condorillo, existiendo, además, quebradas secas con aportes eventuales (21,22).

El río posee una longitud del cauce principal de 120,27 km, un caudal promedio anual de 49,5 m³/s y una altitud media de 4000 m s. n. m. El río da origen a varias lagunas: Turpococha, Huachhuaccasa, Chalhuamayo, Chinchinca, Palccamayo, Tiococha, Huanzo, Taccracocha, Orjoruccyo, Callcococho y Tipecc (21,22). El distrito de Sacsamarca se encuentra en la subcuenca del río Caracha.

Cabe precisar que tanto los ríos como las lagunas mencionados no se encuentran en los registros oficiales de la ANA. La institución no cuenta con un inventario de lagunas desde 1980, en que la Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN) realizó un inventario nacional de lagunas y represamientos.

Las aguas del río Caracha han sido clasificadas como aguas para riego de vegetales de consumo crudo y bebidas de animales, según mandato de la Resolución Jefatural N° 202-2010-ANA (25), siendo el sistema hídrico de esta subcuenca usado para las actividades agrícola y ganadera, principal sustento económico para la comunidad. La subcuenca del río Caracha incluye seis comisiones de regantes: Carapo, Huamanquiquia, Lucanamarca, Sacsamarca, Sancos y Sarhua (21).

2.1.2 Aspecto socio económico

En el aspecto histórico hay que considerar que desde tiempos coloniales, la población de Sacsamarca se ha desarrollado en la cuenca del río Caracha (conocido como Qaracha, al hacer referencia al cuero del toro – *qara* - o a la sarna que ataca al ganado). El actual pueblo de Sacsamarca se formó por la unión de etnias de la orilla izquierda del río, procedentes de Lucanas y Andamarca, así como por la influencia de wankas que venían del sur. La presencia de antiguos andenes alrededor del centro poblado (ver figura 5) evidencia la dedicación a la agricultura y ganadería alto andina (6,8,11). Una de las acepciones, dada por los lugareños, es que Sacsamarca significa “pueblo pleno o con abundancia” (*Saksay* = SACIEDAD o COMER HASTA QUEDAR SATISFECHO; *marka* = PUEBLO).



Figura 7. Andenes de la zona de Sacsamarca (11). Por Carolina García, 09.10.17

La época republicana de Sacsamarca es aún materia de investigación. Se reporta que la actual comunidad fue inscrita oficialmente como comunidad indígena el 21 de agosto de 1936, en base a “testimonios de títulos antiguos de propiedad de tierras” y el plano perimétrico trazado en 1928. Fue oficialmente creado como distrito el 11 de noviembre de 1961, por ley N° 13179, firmada por el presidente Manuel Prado Ugarteche en su segundo período de gobierno (8,18).

En la década de 1980, se inició la sublevación del grupo subversivo Partido Comunista del Perú - Sendero Luminoso (PCP-SL) contra el Estado peruano, lo que generó la respuesta del Ejército peruano, periodo conocido como conflicto armado interno, con Ayacucho como escenario principal de los enfrentamientos entre ambas partes. Sendero Luminoso encontró esta región al margen de los programas estatales, con una élite comerciante y ganadera que controlaba los poderes político y económico, contexto que ayudó al fortalecimiento del grupo subversivo, que proponía la construcción de un nuevo Estado. Sin embargo, la población de Sacsamarca presentaba características socioeconómicas más homogéneas. (8,17,24,26)

Luego de la caída del gobierno de Alberto Fujimori, y la instauración del gobierno transitorio de Valentín Paniagua, se instala la Comisión de la Verdad y Reconciliación (CVR), la cual realizó un análisis de las condiciones que contribuyeron a la violencia y buscó esclarecer los crímenes y las violaciones a los derechos humanos, así como identificar las víctimas. Ayacucho resultó ser la región con el mayor registro de víctimas (10 686 personas) entre los años 1980 y el 2000 (17,24).

Es en este contexto que la comunidad de Sacsamarca fue destacada como caso emblemático por la CVR. En los meses de febrero y mayo de 1983 se enfrentaron y vencieron a Sendero Luminoso, gracias a dos factores: los sacsamarquinos residentes en Lima demandaron intervención por parte de las instituciones del Estado, y la participación de los mismos comuneros que organizaron una rebelión contra el grupo subversivo. En la comunidad se inicia un largo período de reconstrucción con el apoyo de la CVR. Sin embargo, las relaciones comunales en Sacsamarca se vieron afectadas por el conflicto armado interno, debido a la convivencia de individuos y familiares con vinculación a los dos bandos enfrentados (8,12,17,24,26).

En el aspecto político, el distrito de Sacsamarca se encuentra organizado por un concejo municipal y por una autoridad comunal. En los años 2016-2017 la administración se rigió bajo la alcaldía de Bartolomé Fernández López, la presidencia de la comunidad a cargo de Felix Alejandro Infante Cuba, el gobernador Jhony Cancho del Pino, el juez de paz Bibiano García Cayampi, y los regidores del concejo municipal.

En el aspecto demográfico, se consideró el censo de población y hogares del año 2007 que realizó el INEI, donde el distrito de Sacsamarca presentó una población de 1570 personas (10). Como se

observa en la figura 6 el distrito cuenta con una alta tasa de niños y jóvenes, y baja tasa de adultos mayores. El 77,1% de la población se encuentra en estado de pobreza, y 38,6% en estado de extrema pobreza. Esta tendencia fue confirmada en el censo del 2013, que señala un intervalo de pobreza en Sacsamarca de 43,4 a 62,8% (27,28). La población mayor de 15 años de edad del distrito tiene una tasa de analfabetismo de 21,8% de un total de 797 pobladores, de los cuales, 405 son hombres con tasa de analfabetismo de 18,5% y 392 mujeres con tasa de analfabetismo de 21,2% (10).

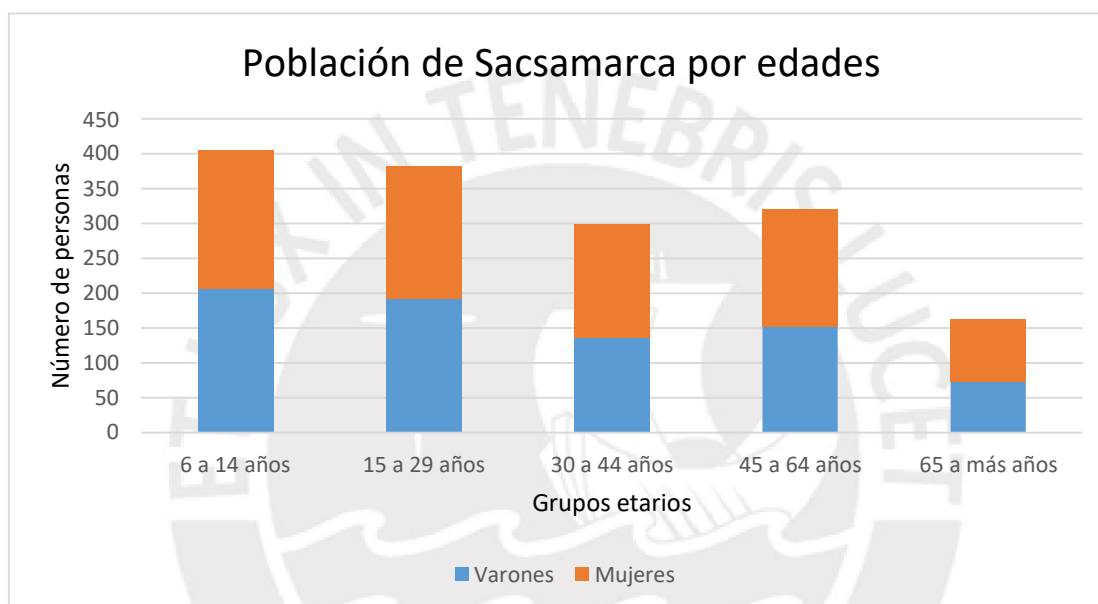


Figura 8. Población total por grupos etarios, según el censo del 2007 (10).

En el aspecto económico, el distrito de Sacsamarca presenta una población económicamente activa (PEA) de 505 habitantes, de la cual solo 413 personas declararon tener variada ocupación (ver tabla 1) y 92 se encontraban en situación de desocupación, según el censo del 2007 del INEI (10). La geografía ha sido un factor fuertemente determinante de la actividad económica del pueblo, favorable al desarrollo de la actividad ganadera, de vacunos y bovinos sudamericanos, así como también para el cultivo agrícola (avena, cebada, papa, trigo) en zonas por debajo de los 3700 m s. n. m. (23) Tanto la actividad ganadera como agrícola de Sacsamarca son de subsistencia en su gran mayoría, se cría ganado y se cultiva solo para consumo, y una parte para intercambio con otras comunidades cercanas.

Tabla 1. PEA por actividad en el distrito de Sacsamarca. (10)

Actividad	Habitantes
Agricultura, ganadería y otros	240
Industrias manufactureras	13
Construcción	33
Comercio	37
Hoteles y restaurantes	6
Transporte	7
Administración pública	17
Enseñanza	38
Otros servicios	22
Total	413

2.2 Calidad del agua

2.2.1 Concepto de calidad de agua

El agua es el componente más importante en el mundo sin el cual la vida no podría existir y tiene una función de sostén de muchos ecosistemas, tanto naturales como sociales. Entonces, el agua no solo es responsable del sostenimiento de la biodiversidad, sino de la humanidad misma, en su individualidad y colectividad a través de sociedades, donde el desarrollo de estas se ha visto íntimamente ligado a la utilización del recurso hídrico. El concepto de calidad de agua es parte de un análisis complejo, no exento de controversias, pudiéndose entender la calidad desde un punto de vista funcional (la capacidad del agua para responder a sus usos), ambiental (las condiciones que deben darse en el agua para mantener un ecosistema equilibrado), o descriptiva (como el conjunto de características físicas, químicas y microbiológicas), etc. (29)

La calidad del agua es afectada por un amplio rango de variables naturales y humanas. Las variables naturales más importantes son geológicas, hidrológicas y climáticas, las cuales afectan la cantidad y calidad del agua. Su influencia usualmente es mayor cuando la cantidad del agua disponible es baja y su uso máximo. Por otro lado, el efecto de las actividades humanas varía en función de que estas interrumpen el uso del agua por los ecosistemas (30). El comportamiento de contaminantes en ecosistemas acuáticos es complejo y puede implicar varios procesos fisicoquímicos, como adsorción-desorción, precipitación-solubilización, filtración, consumo

biológico, excreción y sedimentación-resuspensión, los cuales pueden ocurrir de manera simultánea o consecutiva (30). En la tabla 2 se presentan los procesos que ocurren en los sistemas acuáticos.

Tabla 2. Procesos naturales importantes que afectan la calidad del agua (30)

Tipo de proceso	Proceso principal en el cuerpo de agua	Cuerpo de agua
Hidrológico	Dilución Evaporación Percolación y lixiviación Suspensión y asentamiento	Todos los cuerpos de agua Agua superficial Agua subterránea Agua superficial
Físico	Intercambio gaseoso con atmósfera Volatilización Adsorción/desorción Calentamiento y/o enfriamiento Difusión	La mayoría de ríos y lagos La mayoría de ríos y lagos Todos los cuerpos de agua La mayoría de ríos y lagos Lagos y agua subterránea
Químico	Fotodegradación Reacciones ácido-base Reacciones redox Disolución de partículas Precipitación de minerales Intercambio iónico	Lagos y ríos Todos los cuerpos de agua Todos los cuerpos de agua Todos los cuerpos de agua Todos los cuerpos de agua Agua subterránea
Biológico	Producción primaria Crecimiento y muerte de microorganismos Descomposición de materia orgánica Bioacumulación Biomagnificación	Agua superficial Todos los cuerpos de agua La mayoría de ríos y lagos La mayoría de ríos y lagos La mayoría de ríos y lagos

Debido a que las características fisicoquímicas son un factor importante para el establecimiento de la calidad del agua, se considera una serie de parámetros como índice regulador ante procesos de contaminación, naturales o antropogénicos, que afecten la calidad de un ambiente acuático. Los procesos biológicos también deben ser considerados para un aseguramiento más integral de la calidad en aguas superficiales y subterráneas. Así mismo, se debe considerar las distribuciones espacial y temporal de las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas en los sistemas acuáticos (31,32).

2.2.2 Parámetros de evaluación de calidad de agua

Cada país establece criterios de calidad del agua de acuerdo a la designación de uso que establece para los cuerpos de agua en su territorio. Estas designaciones reflejan la variedad de usos, incluyendo el mantenimiento de la vida acuática, la recreación, el agua potable y los usos industriales (33). En el Perú, los estándares de calidad ambiental (ECA) para agua fueron establecidos por el MINAM y estos se clasifican en cuatro categorías (3,34,35):

- Categoría I, la cual se subdivide en 1A (aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable) y 1B (aguas superficiales destinadas a la recreación);
- categoría II, que se subdivide en C1 (extracción y cultivo de moluscos bivalvos en aguas marino costeros), C2 (extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras), C3 (Otras actividades en aguas marino costeras) y C4 (extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos y lagunas);
- Categoría III, que se subdivide en D1 (cultivo de vegetales de tallo alto y bajo) y D2 (bebida de animales); y
- Categoría IV, para conservación del ambiente acuático que se divide en E1 (lagunas y lagos), E2 (ríos) y E3 (ecosistemas marino costeros)

Otros indicadores de calidad de agua son los que proporciona el MINSA, a través de su reglamento de calidad de agua para consumo, donde establece parámetros de calidad organoléptica y microbiológica. Así mismo, los diferentes sectores han dispuesto límites máximos permisibles (LMP) para los efluentes domésticos, industriales, pesqueros, etc.

En la tabla 3 se presentan los principales indicadores fisicoquímicos e inorgánicos de calidad de agua para actividades de riego que corresponde a la categoría 3 de los ECA para agua.

Tabla 3. Parámetros de la categoría 3 de los ECA para agua (3).

Parámetros	Unidad de medida	Riego de vegetales	Bebida de animales
Aceites y grasas	mg/L	5	10
Cianuro wad	mg/L	0,1	0,1
Cloruros	mg/L	500	**
Conductividad	(μ S/cm)	2500	5000
DBO ₅	mg/L	15	15
DQO	mg/L	40	40
Detergentes	mg/L	0,2	0,5
Fenoles	mg/L	0,002	0,01
Fluoruros	mg/L	1	**
Nitratos (NO ₃ --N) + Nitritos (NO ₂ --N)	mg/L	100	100
Nitritos (NO ₂ --N)	mg/L	10	10
Oxígeno disuelto	mg/L	≥4	≥5
pH	Unidad de pH	6,5-8,5	6,5-8,4
Sulfatos	mg/L	1000	1000
Temperatura	°C	Δ3	Δ3
Aluminio	mg/L	5	5
Arsénico	mg/L	0,1	0,2
Bario	mg/L	0,7	**
Berilio	mg/L	0,1	0,1
Boro	mg/L	1	5
Cadmio	mg/L	0,01	0,05
Cobre	mg/L	0,2	0,5
Cobalto	mg/L	0,05	1

Parámetros	Unidad de medida	Riego de vegetales	Bebida de animales
Cromo total	mg/L	0,1	1
Hierro	mg/L	5	**
Litio	mg/L	2,5	2,5
Magnesio	mg/L	**	250
Manganeso	mg/L	0,2	0,2
Mercurio	mg/L	0,001	0,01
Níquel	mg/L	0,2	1
Plomo	mg/L	0,05	0,05
Selenio	mg/L	0,02	0,05
Zinc	mg/L	2	24

** No aplica para esta subcategoría

2.2.2.1 pH

Es una medida de la concentración de iones hidronio (H_3O^+), o intensidad de acidez, en la disolución, e indicador de la existencia de vida, ya que los organismos toleran un rango específico de pH. En las mediciones de pH, hay que tener presente que estas sufren variaciones con la temperatura. Por lo general, las aguas naturales que no han sufrido contaminación antropogénica exhiben pH en el rango de 5 a 9. No obstante, la mayoría de los ríos, lagos y otros cuerpos de agua naturales tienen niveles de pH que varían en el rango de 6,0 a 8,5 (36–39). El valor de pH del agua natural se debe principalmente a dos factores: el equilibrio del sistema carbónico, por la disolución de CO_2 en el agua y la disolución de carbonatos de las rocas, y, por otro lado, la actividad vital de los microorganismos acuáticos, a través de actividad fotosintética y la respiración de organismos heterótrofos (40,41).

2.2.2.2 Conductividad eléctrica

La conductividad indica la presencia de iones en las aguas (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , fosfatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos), observándose principalmente en aguas salinas y, en menor grado, en procesos de lixiviación, los cuales proporcionan al agua la capacidad de conducir la corriente eléctrica. La conductividad también se considera una medida indirecta de sólidos

disueltos, por la aplicación de un factor de conversión. Las aguas que presentan una elevada conductividad son corrosivas (36,37,42).

2.2.2.3 Sólidos

Los sólidos son encontrados en las aguas, tanto en forma de compuestos orgánicos como inorgánicos. Los sólidos sedimentables pueden causar turbidez momentánea, mientras los sólidos en suspensión causan turbidez permanente, debido a la dispersión de la luz (efecto Tyndall) que se produce. Entonces, los sólidos pueden ser partículas sedimentables, en suspensión o compuestos solubilizados, siendo la cantidad de sólidos totales la suma de ambos (ST) (37,39). Los sólidos suspendidos totales son indicadores de la erosión que tuvo lugar aguas arriba, y son referencias para el cobro de tasas retributivas y el diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales (36,42). Por otro lado, los sólidos totales disueltos (TDS) más abundantes son sales inorgánicas, como carbonatos, cloruros, sulfatos y nitratos, y cationes K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} y Na^+ . Estos sólidos se determinan por procesos de filtración y evaporación (36,42).

2.2.2.4 Fosfatos y nitratos

Los nutrientes son los elementos que los organismos vivos necesitan para su desarrollo. Son usados en la agricultura para ayudar al crecimiento de los cultivos. Los nutrientes pueden presentar formas orgánicas o inorgánicas, siendo el carbono, nitrógeno y fósforo los más importantes para el control de la calidad y contaminación del agua (39).

Las especies de fósforo más comunes en el agua son los ortofosfatos (como PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , $H_2PO_4^-$ y H_3PO_4), necesarios para el metabolismo biológico. Otras especies de menor relevancia son los fosfatos condensados (piro, meta, y polifosfatos) y los fosfatos orgánicos. Estos últimos son constituyentes de importancia en los vertimientos industriales y lodos de aguas residuales (38,42). Una gran parte del fósforo presente en las aguas se debe al uso de abonos y detergentes fosfatados (37). La eutrofización de los cuerpos de agua es un problema ambiental debido a la acumulación de este elemento, junto con el nitrógeno, produciendo el crecimiento incontrolado de biomasa acuática (43).

El nitrato es la forma más oxidada de nitrógeno que se encuentra en el agua, formado en la descomposición de sustancias orgánicas nitrogenadas (proteínas). Por lo general, los nitratos son muy solubles en agua (38,42). Un elevado contenido de nitratos, y simultáneamente bajo en amonio, estimula el crecimiento de macrofitas y fitoplancton en el agua. El proceso de eutrofización en cuerpos de agua, donde se acumulan nitrógeno y fósforo, evita el intercambio gaseoso entre el sistema acuático y la atmósfera (36,37).

2.2.2.5 Sulfatos

Los sulfatos son componentes naturales de las aguas superficiales y, por lo general, no se encuentran en concentraciones que puedan afectar su calidad (38). Este anión se puede encontrar en las fuentes de agua y procede fundamentalmente de los procesos de disolución de yesos (CaSO_4), oxidación bacteriana de sulfuros (40), oxidación de sulfitos minerales, descomposición de materia orgánica, operaciones de minería y fundición, emisión en fábricas de pastas, papel y textiles, operaciones industriales donde se emplean ácido sulfúrico y sulfatos, fertilizantes con alto contenido de sulfatos, entre otros (40, 44). Los sulfatos de calcio y magnesio contribuyen a la dureza del agua. Un alto contenido de sulfatos puede tener un efecto laxante, principalmente cuando se encuentra presente el magnesio, ya que este le confiere al agua un sabor amargo. Este efecto es más significativo en niños y consumidores no habituados al agua con estas características (38).

2.2.2.6 Demanda química de oxígeno

Las fuentes de materia orgánica pueden ser de origen natural, entre las cuales se pueden destacar las especies provenientes de seres vivos, tales como aminoácidos, ácidos grasos, alcoholes, pigmentos naturales y, además, las sustancias húmicas y fúlvicas que constituyen la materia orgánica de los suelos, junto a otras macromoléculas orgánicas, como proteínas y polisacáridos. La contaminación antropogénica por materia orgánica tiene, en general, tres orígenes: doméstico, agrícola e industrial. Las aguas residuales urbanas y agrícolas se caracterizan por un alto contenido de materia orgánica, donde abundan los ácidos grasos, proteínas, carbohidratos, detergentes, etc. En las aguas residuales industriales suelen presentarse también algunos compuestos sintéticos como carburantes, plásticos, fármacos, fibras, disolventes, pinturas, pesticidas (45).

La demanda química de oxígeno (DQO) es una prueba ampliamente utilizada para determinar el contenido de materia orgánica de una muestra de agua, es decir, equivale a la cantidad de oxígeno consumido por los cuerpos reductores presentes en un agua. A diferencia de la DBO (demanda bioquímica de oxígeno), en esta prueba, la materia orgánica es oxidada utilizando una sustancia química en lugar de microorganismos (44). La eliminación de la materia orgánica se lleva a cabo mediante la coagulación-floculación, la sedimentación y la filtración. (38)

2.2.2.7 Metales

La excesiva concentración de metales en los cuerpos de agua es una de las principales preocupaciones en el tema ambiental. Esto es principalmente debido a su uso generalizado, los posibles efectos tóxicos en la biota acuática y su largo tiempo de permanencia en el ambiente, ya que no pueden ser degradados hasta inocuidad. Ciertos metales son esenciales para los organismos en pequeñas cantidades, como el cobre, cinc, cobalto y molibdeno, aunque la exposición a altas concentraciones puede tener efectos tóxicos a la salud. (46)

Los seres humanos han usado los metales para diversos propósitos como, por ejemplo, la joyería (el oro, la plata y el cobre), fotografía (plata), pinturas (plomo y zinc), etc (39). Debido al uso extensivo de los metales, estos pueden entrar en el agua de diferentes maneras, principalmente por procesos de lixiviación, así como diversas descargas de efluentes. Entre las principales fuentes se pueden mencionar los efluentes de aguas residuales domésticas (una posible fuente de cinc, plomo y cobre), descargas industriales (una fuente potencial de níquel, cobre, cinc y cromo), la agricultura (una posible fuente de cinc, plomo, cromo y cobre), escorrentías en las carreteras (una fuente potencial de arsénico, cinc, cadmio, plomo y níquel), etc. (46)

La disolución de metales en fuentes de agua puede alcanzar niveles tóxicos para los organismos que interactúan con este medio, si se encuentran a exposición de concentraciones altas o de concentraciones bajas por un largo período (39).

2.3 Recursos hídricos en el Perú

En el Perú, el agua está definida como un recurso natural renovable, indispensable para la vida, vulnerable y estratégico para el desarrollo sostenible, el mantenimiento de los sistemas y ciclos naturales que la sustentan, y la seguridad de la Nación. Con la promulgación de la Ley de Recursos Hídricos, también se creó el Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos y, como ente rector, se estableció a la Autoridad Nacional del Agua (ANA) (47).

La superficie continental del Perú es de 1 285 215,6 km², en tres grandes cuencas hidrográficas: océano Pacífico, océano Atlántico (río Amazonas) y lago Titicaca. En la tabla 4 se puede observar que la mayor población se encuentra en la región hidrográfica del Pacífico, a diferencia de la región del Amazonas donde hay mayor volumen del recurso (48).

Tabla 4. Distribución de los recursos hídricos en el territorio peruano (49).

Región Hidrográfica	Superficie		Población		Recursos Hídricos	
	(10 ³ km ²)	(%)	(Hab)	(%)	(hm ³ /año)	(%)
Pacífico	278,48	21,67	18 801 417	62,53	34 136	1,764
Amazonas	957,82	74,53	10 018 789	33,32	1 895 226	97,913
Titicaca	48,91	3,81	1 246 975	4,15	6 259	0,323
TOTAL	1285,21	100	30 067 181	100	1 935 621	100

En este marco, se establece una nueva estructura de gobernanza basada en el sistema de cuencas. Se crean catorce Autoridades Administrativas del Agua (AAA): Caplina-Ocoña, Cháparra-Chincha, Cañete-Fortaleza, Huarmey-Chicama, Jequetepeque-Zarumilla, Marañón, Amazonas, Huallaga, Ucayali, Mantaro, Pampas-Apurímac, Urubamba-Vilcanota, Madre de Dios y Titicaca (49) (figura 9). “El concepto de cuenca hidrográfica es el primer elemento considerado para la determinación de los ámbitos jurisdiccionales de las AAA, habiendo comprendido que la cuenca hidrográfica constituye la unidad territorial básica y elemental para la gestión, planificación y acción de los recursos naturales, en general, y de los recursos hídricos, en especial” (49 p9). Así mismo, a partir de la aprobación de la Ley de Recursos Hídricos, “se han creado siete Consejos de Recursos Hídricos de Cuenca (CRHC): Tumbes, Chira-Piura, Chancay-Lambayeque, Chancay-Huaral, Quilca-Chili, Caplina-Locumba y Chillón-Rímac-Lurín, los que cumplen sus funciones, apoyados por sus secretarías técnicas. Los CRHC constituyen una plataforma en la que instituciones y organizaciones coordinan y llegan a acuerdos para impulsar la modernización de la gestión del agua a través de la formulación e implementación de planes de gestión” (50 p33).



Figura 4. Mapa de las Autoridades Administrativas del Agua (49).

En el área de la AAA Pampas-Apurímac, se han delimitado dieciocho subcuencas para la generación de los caudales, siete en la cuenca del río Pampas, siete en la cuenca del río Apurímac y cuatro en la cuenca del río Urubamba. Además, la AAA Pampas-Apurímac cuenta con cuatro Administradores Locales del Agua (ALA): Abancay, Alto Apurímac-Velille, Medio Apurímac-Pachachaca y Bajo Apurímac-Pampas. La cuenca del río Pampas incluye a las regiones de Apurímac, Huancavelica y Ayacucho, y forma parte del sistema hidrográfico de la vertiente del Atlántico. Esta cuenca está dividida en siete subcuencas: Alto Pampas, Caracha, Jatunmayo, Chicha, Medio Pampas, Torobamba, Pampas (21,22).

A pesar de la existencia del Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos, los responsables públicos y privados de la gestión del agua, así como la población, rara vez se percatan de la necesidad de formular proyectos y ejecutar programas de gestión del uso múltiple del agua y de manejo de cuencas. Sin embargo, esta tendencia se está revirtiendo, luego de la ocurrencia de fenómenos naturales extremos o graves conflictos entre usuarios. La falta de líderes y de mecanismos institucionales adecuados para aplicar y operar técnicas de gestión de cuencas es otra causa importante del fracaso de las iniciativas (51). “Durante las últimas décadas, expertos de todo el mundo han estudiado y compartido conocimientos para lograr un acuerdo sobre la forma indicada de gestionar los recursos hídricos. Este proceso propició la implementación en el Perú de la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH)” (52 p19).

“El calentamiento en el sistema climático es inequívoco. La atmósfera y el océano se han calentado, los volúmenes de nieve y hielo han disminuido, el nivel del mar se ha elevado y las concentraciones de gases de efecto invernadero han aumentado” (53 p131). “La GIRH puede ayudar a las comunidades a adaptarse a las condiciones climáticas cambiantes que limitan la disponibilidad del agua o pueden causar inundaciones y sequías excesivas (ver tabla 5). Las funciones claves de la gestión de los recursos hídricos pueden ser de ayuda para enfrentar la variabilidad climática” (52 p24). Por ejemplo:

- En el control del desarrollo de cantidad y calidad del agua, la gestión puede tomar medidas de precaución hacia la adaptación.
- La gestión de inundaciones y sequías, como función clave de la GIRH, permite la intervención directa en casos de acontecimientos extremos.
- En el planeamiento de la cuenca, se pueden incorporar la evaluación de riesgos y medidas para la adaptación.
- Se puede buscar una asignación eficiente del uso del agua para reaccionar a la variabilidad climática de manera flexible. En este sentido, el enfoque de gestión de la demanda también debe incorporar la variable de cambio climático.

Tabla 5. Efecto e impacto del cambio climático sobre la disponibilidad de agua (53).

Efecto observado	Impactos observados y/o posibles
Aumento de la temperatura atmosférica	Disminución de la disponibilidad de agua en cuencas alimentadas por glaciares en retracción, observada en ciertas ciudades andinas de América del Sur.
Aumento de la temperatura superficial del agua	Disminución del contenido de oxígeno disuelto, pautas de mezclado y menor capacidad de autodepuración. Mayor número de floraciones de algas.
Aumento del nivel del mar	Salinización de los acuíferos costeros.
Cambios en la precipitación	Variación de la disponibilidad de agua debida a los cambios de precipitación y a otros fenómenos similares (por ejemplo, recarga de las aguas subterráneas, evapotranspiración).
Aumento de la variabilidad interanual del río	Mayor dificultad para controlar las crecidas y para utilizar los reservorios durante la estación de crecidas.
Aumento de la evapotranspiración	Menor disponibilidad de agua. Salinización de los recursos hídricos. Disminución del nivel freático.
Aumento de la frecuencia e intensidad de fenómenos extremos	Las crecidas afectan a la calidad del agua y a la integridad de la infraestructura hidrológica, y acentúan la erosión fluvial, introduciendo así diversos tipos de contaminantes en los recursos hídricos. Las sequías afectan a la disponibilidad y calidad de agua.

“Por su parte, el Programa Hidrológico Internacional de la Unesco (2012) considera que la población rural carece de acceso a servicios de agua y saneamiento seguro en mayor proporción que la población urbana. Esto tiene como resultado una evidente desigualdad social y de género, además de altos costos económicos en materia de salud. La gran mayoría de la población rural en América Latina, por sus condiciones de vulnerabilidad social y económica, no cuenta con recursos para responder o enfrentar la variabilidad y los impactos naturales. Estas condiciones hacen que promover la GIRH y el acceso al saneamiento en áreas rurales sea un desafío aún mayor debido a que estos asentamientos se encuentran usualmente en ambientes frágiles, donde los modelos de

desarrollo están dominados por valores culturales y condiciones económicas precarias, y altos costos asociados a los desafíos de la recuperación” (53 p134).

2.4 Del ciclo hidrológico al ciclo hidrosocial

2.4.1 Ciclo hidrológico

El agua existe en la Tierra en estados sólido, líquido o gaseoso. Su distribución es bastante variable, ya que muchas regiones la tienen en abundancia, mientras que en otras su disponibilidad es escasa. El agua se encuentra en océanos, en la atmósfera, así como bajo la superficie terrestre. Solo una fracción mínima del agua del planeta está disponible para los humanos, tal es así que aproximadamente 97% del volumen se encuentra en los océanos, y menos de 3% es agua dulce. Afortunadamente, el agua dulce disponible se nutre de un generoso suministro que continuamente se recoge, purifica, recicla y distribuye en el ciclo hidrológico (54–56). En la figura 10 se puede observar la distribución global del agua.

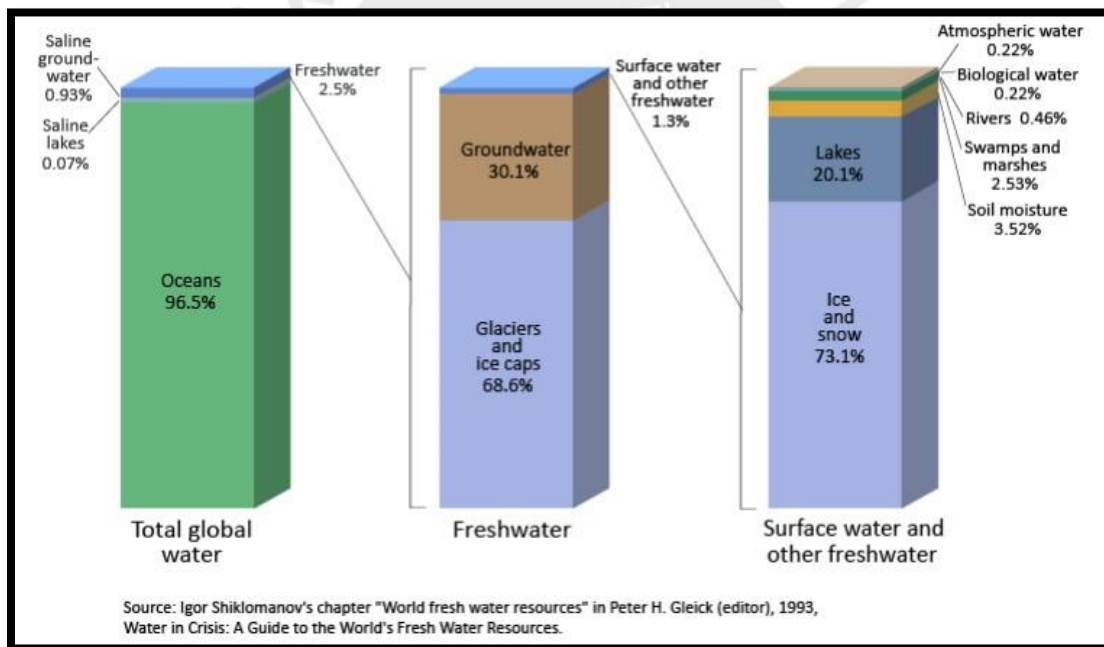


Figura 5. Distribución del agua en el planeta. (57)

El ciclo hidrológico (figura 11) es el movimiento continuo del agua a través de diversos componentes del sistema climático terrestre. Los reservorios más importantes en el ciclo hidrológico son: océanos, que cubren 70% de la superficie del planeta, almacenando enormes cantidades de agua y energía; atmósfera, donde el agua se almacena en forma condensada como nubes o vapor, y altera la radiación, reflejándola o absorbiéndola; glaciares y capas de hielo, donde

el agua se almacena e impacta en el clima terrestre, al tener un alto albedo; agua subterránea, en la que se pueden identificar varias capas como el permafrost, la zona de saturación (donde el agua almacenada en los poros y fracturas del suelo es bombeada a la superficie), la zona intermedia insaturada y la capa freática; y agua superficial contenida en lagos, ríos, humedales y embalses (55,56).

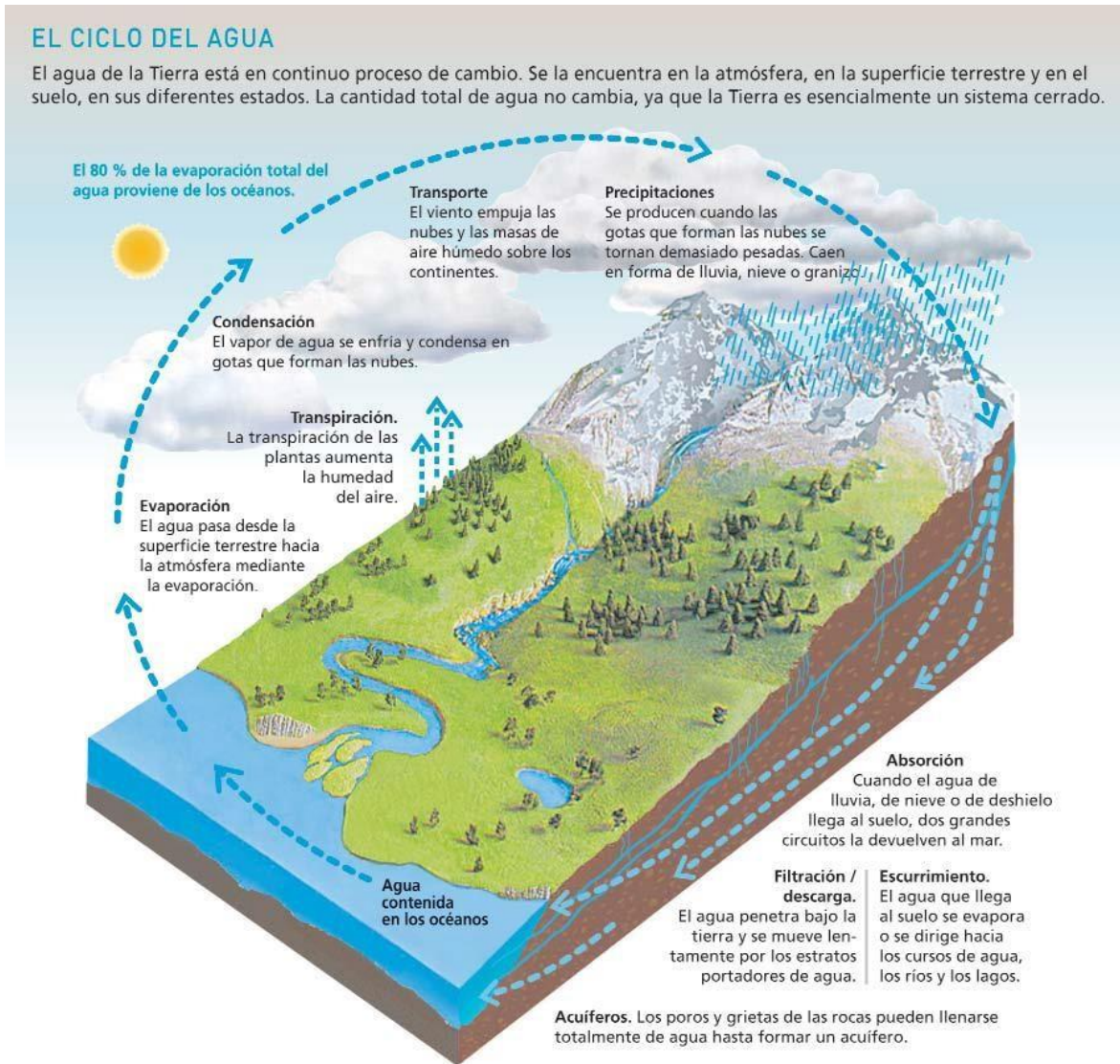


Figura 6. Ciclo hidrológico (54).

En el ciclo hidrológico se pueden distinguir varios procesos o flujos de agua. La fuerza motriz del ciclo del agua es la radiación solar que calienta la atmósfera y suministra energía para la evaporación del agua. La precipitación es el mayor flujo del ciclo hidrológico sobre la tierra, donde el vapor de agua de la atmósfera se condensa y cae sobre el suelo y las masas de agua, y cierta parte es interceptada por la vegetación. Luego, una porción del agua se evapora del suelo húmedo, mientras otra es absorbida por las raíces de las plantas; una pequeña parte es retenida para su crecimiento y el resto es transpirado a través de sus estomas. El proceso colectivo, que incluye la cantidad total del agua evaporada desde la superficie y transpirada por la vegetación, se llama evapotranspiración. Un último flujo a considerar es la escorrentía del agua que no se evapora desde el suelo ni es absorbida por las plantas, una parte crea flujos a nivel superficial, y otra se infiltra en el suelo creando escorrentías hipodérmicas, en la zona de saturación, escorrentías subterráneas, en la zona freática (55,58, 59).

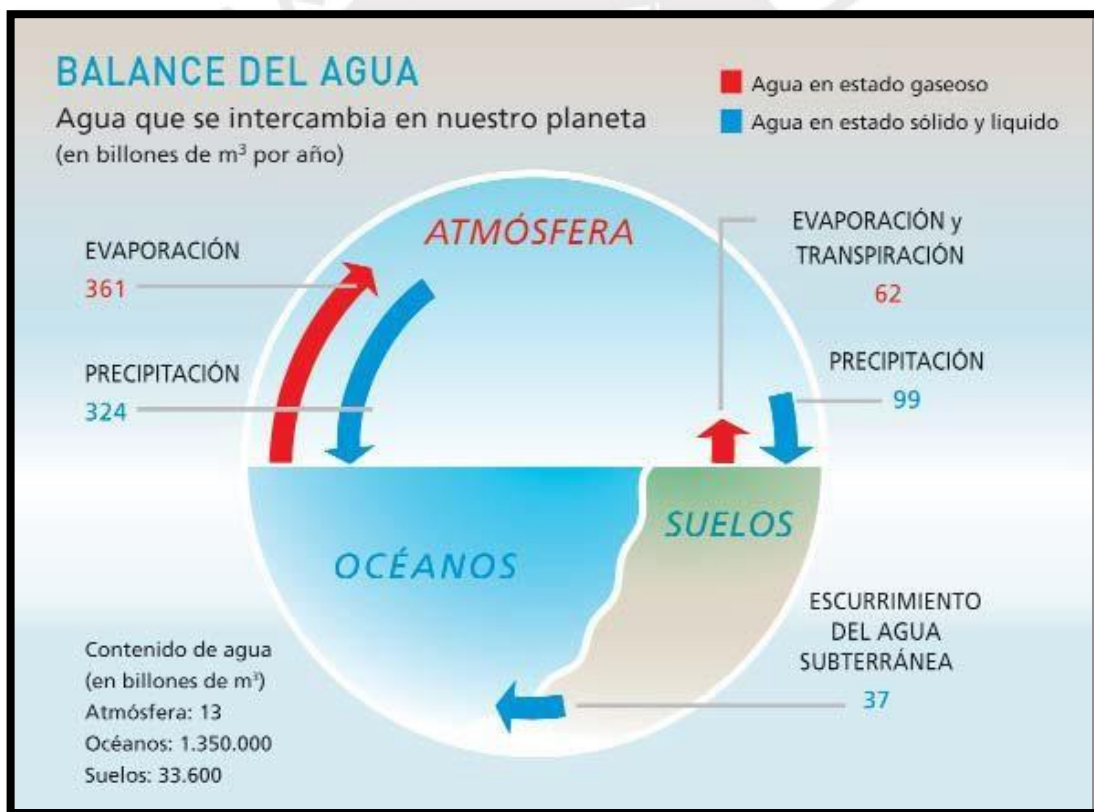


Figura 7. Balance de agua global.(54)

Al integrar los flujos y las fuentes, se establece el balance de agua global. En la figura 12 se muestran los volúmenes de agua contenidos en el suelo, los océanos y la atmósfera. Las flechas indican el intercambio anual de agua entre los distintos reservorios. Si se calcula el intercambio neto de agua entre cada uno de los reservorios con los restantes, el resultado es nulo, lo que confirma el hecho de que en el planeta no existen fuentes ni sumideros de agua. (54)

2.4.2 Sistema socio-ecológico y flujos de agua

“El deterioro de los ecosistemas, la diversidad de problemas de salud, el crecimiento de las ciudades y los cambios en los sistemas productivos son ejemplos de situaciones de creciente complejidad que demandan nuevas formas de enfrentamiento científico tecnológico, con el objeto de otorgar mejor calidad de vida. Esto obliga a tratar los problemas como típicos de sistemas poniendo atención en sus componentes y relaciones que crecen continuamente en cantidad y complejidad” (60 p1). Los sistemas complejos se caracterizan, fundamentalmente, porque su comportamiento es imprevisible. En la naturaleza se puede encontrar una gran cantidad de ejemplos de sistemas complejos por lo que no constituyen un caso raro ni excepcional, sino que se manifiestan en la inmensa mayoría de los fenómenos que se observan a diario. (61)

Los sistemas naturales y humanos han evolucionado conjunta y continuamente, ya que entre ellos se establecen múltiples flujos de materia, energía e información. Sin embargo, el hecho de que tradicionalmente los sistemas humanos y su dinámica de desarrollo hayan sido un campo de estudio casi exclusivo de las disciplinas sociales, y el estudio de los sistemas naturales y su dinámica de evolución, casi exclusivo por las disciplinas naturales, ha resultado en una visión fragmentada, en la que ambos sistemas se encuentran disociados (62).

En este sentido, un sistema socio-ecológico es una compleja estructura que puede ser analizada considerando los subsistemas social y ecológico. El primero incluye tanto comportamientos (de instituciones políticas, económicas y sociales, así como del desarrollo tecnológico) como ideas (valores, conocimiento, ideología, espiritualidad, artes y cultura). Mientras tanto, el subsistema ecológico incluye todos los ecosistemas, minerales, hidrología, clima, procesos físicos, químicos y biológicos de la biósfera. (63 p4) En la figura 14 se muestra la representación del sistema socio-ecológico bajo el paradigma “*humans-in-nature*” (64), donde se integra el marco de análisis, en una sola esfera, en lugar de separar lo social de lo natural. (65)

La característica básica de los sistemas socio-ecológicos es que las sociedades humanas están embebidas en los procesos ecológicos con los cuales tienen fuertes nexos biofísicos, por lo que deberían considerarse como un sistema complejo adaptativo (66). Este sistema es de tipo abierto (permeable a los intercambios de materia y energía), que reacciona y se adapta a su entorno, así

como los seres vivos quienes intercambian materia con su entorno e importan y exportan energía, lo que permite el desarrollo de la organización. Y, organización es sinónimo de complejidad. (60,61)

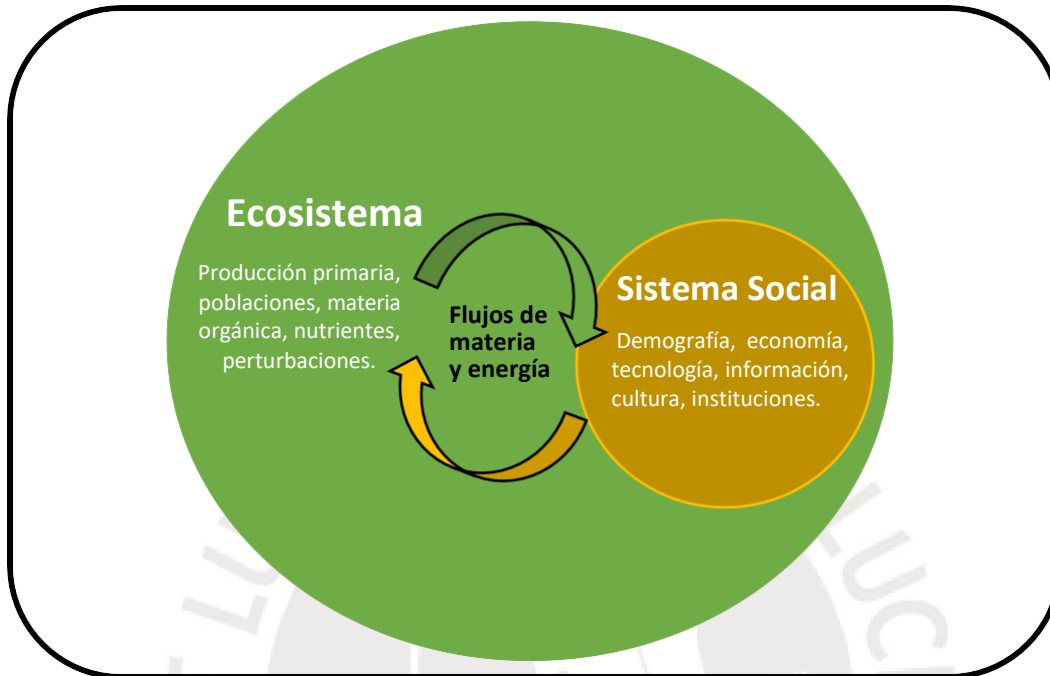


Figura 8. Sistema socio ecológico. Adaptado de (64,65).

Otro enfoque en los sistemas socio-ecológicos es el metabolismo hídrico, que estudia la ausencia de una conceptualización multidimensional del agua y una clara definición de un dominio descriptivo para sociedades y ecosistemas. La multidimensionalidad del agua no es sinónimo de universalidad, ya que un volumen específico de agua con propiedades definidas es adecuado solo para ciertos usos. (67) Los fenómenos sociales asociados al agua están alimentados por una falta de conciencia sobre las relaciones multiescales que rigen los procesos de disponibilidad física de agua y el uso social de la misma. Este problema de escala es una de las características de los sistemas complejos, a los cuales pertenecen tanto los sistemas hídricos (como sistemas naturales) como los sistemas humanos. Desde la perspectiva del ecosistema, el agua se analiza mediante la adopción de una escala de tiempo (décadas) superior a la social (años) y con una escala geográfica que actualmente tiende a ceñirse a la cuenca hidrográfica, diferente de la escala del problema que se suele utilizar para evaluar procesos sociales (68).

En la figura 14 se muestran los flujos de agua que hay en un sistema socio-ecológico. En el nivel "n", dependiendo de la perspectiva que se utilice, se puede hablar de apropiación de agua del ecosistema o de uso del agua por parte de la sociedad. (68)

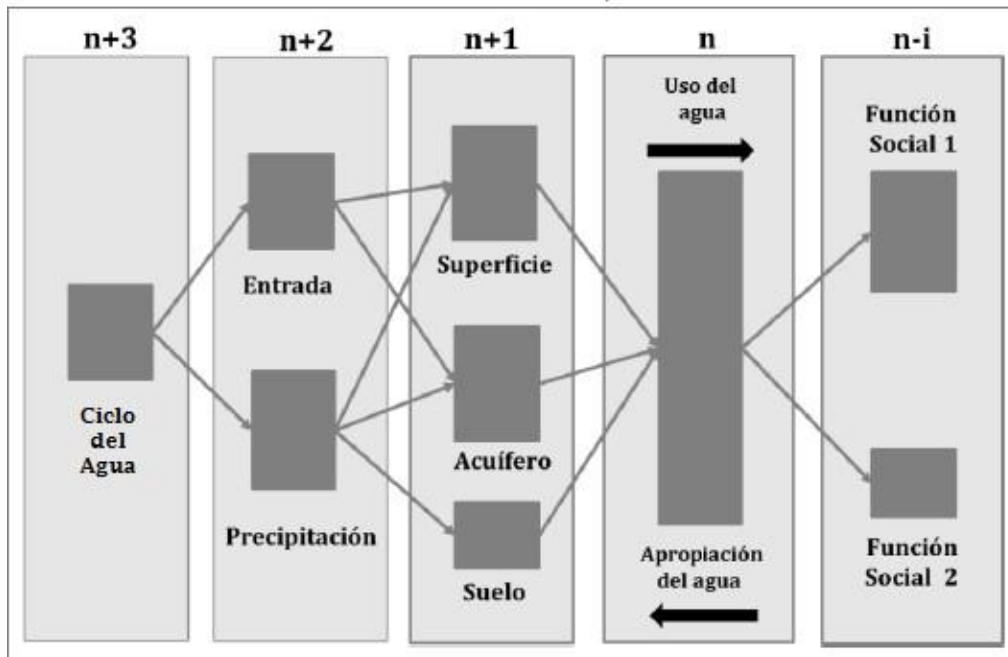


Figura 9. Esquema de organización del flujo de agua en los sistemas socio-ecológicos. (68)

2.4.3 Ciclo hidrosocial

La gestión del agua, confinada inicialmente como un esfuerzo técnico de las ciencias hidrológicas e ingenierías hidráulicas, ahora se ha ampliado a otros campos, reconociendo que el tema del agua comprende importantes dimensiones sociales y políticas que llaman a la implicancia de las ciencias sociales y a las múltiples partes interesadas (69). Específicamente, se han identificado las siguientes variables humanas, que deben ser consideradas por los modelamientos hidrológicos, debido a que estas fuerzas han tenido una profunda influencia en el uso del agua en la última media centuria: las agendas políticas y el desarrollo económico; gobernanza (leyes e instituciones); tecnología e ingeniería; uso de la tierra y recursos; y respuestas sociales. Este es el marco de referencia hidrosocial. (70)

La relación entre el agua y la sociedad ha despertado múltiples intereses por temas como la escasez de agua, el manejo de cuencas de ríos transfronterizos, la privatización del agua, etc. Un notable avance ha sido el reconocimiento creciente de que no es solo una relación de la sociedad con el agua la que está en juego, sino la naturaleza social del agua misma. (71) El ciclo hidrosocial sugiere una relación dialéctica entre el agua y la sociedad, por lo que representa y analiza la naturaleza socio ecológica del agua, reconociendo que los procesos hidrológicos están formados también por actividades humanas e instituciones, considerando que la generación de poderes hídricos no puede entenderse de manera mecánica sino como un complejo proceso derivado de la relación histórica entre sociedad y agua. (72,73)

Eventos y ciclos climáticos naturales, como la desertificación a largo plazo en África, las consecuencias a mediano plazo de la corriente de El Niño en el Pacífico, los monzones anuales que caen en la India, las variaciones estacionales en los climas templados, y otros, afectan la cantidad y la calidad del agua en esas regiones. La actividad humana está alterando seriamente el volumen de agua disponible, debido al aumento del consumo por el incremento poblacional, demanda per cápita y producción agrícola (Figura 16) (74). Se entiende que la afectación a la disponibilidad del agua se traduce tanto en cantidad como calidad.

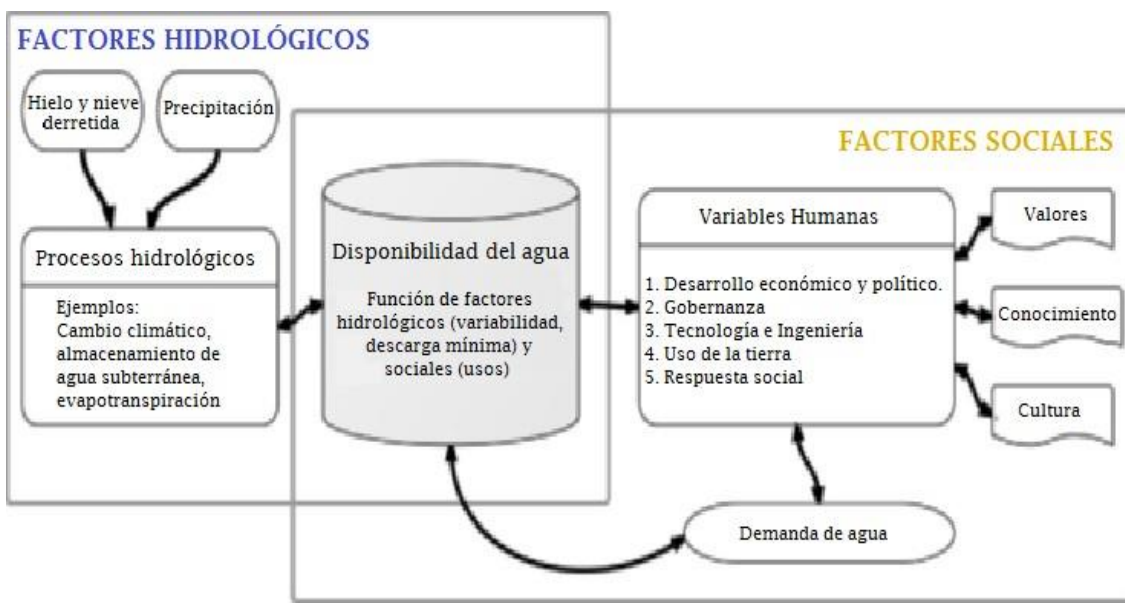


Figura 10. Interacción de los factores sociales e hidrológicos y su influencia en la disponibilidad del recurso hídrico (70).

Para describir el ciclo hidrosocial es necesario entender los procesos metabólicos que lo dominan, la cuantía y la dirección de los flujos hídricos, los actores implicados en la gobernanza del agua y la influencia que ejercen sobre el conjunto del ciclo hidrosocial. En primer lugar, los aportes de agua que entran en el ciclo tienen diferentes procedencias y tipologías. El segundo elemento analizado es el consumo urbano del agua, que abarca distintos usos, como municipal, comercial y doméstico. El tercer elemento a considerar en este ciclo hidrosocial son las salidas del sistema. La red de drenaje para transportar las aguas residuales y el sistema de tratamiento de estas (75). El concepto de ciclo hidrosocial subraya que el agua está siempre en estado de flujo, a menudo invisible (en el nivel freático), a veces cambiante en términos de calidad, pero siempre en movimiento en lo que hace a cantidad y distribución en el tiempo (76).

3. METODOLOGÍA

3.1 Diseño de plan de monitoreo

Para el diseño del plan de monitoreo fue importante realizar visitas previas de inspección del área para validar la investigación de gabinete realizada. Fue necesario contrastar la información de los mapas con la realidad del momento para establecer los mejores lugares de muestreo o cambiar algunos previstos por dificultades de acceso. Así mismo, fue importante conocer el régimen hidrológico del río, para establecer un muestreo durante la época de alto caudal, y otra durante la época de estiaje.

3.1.1 Frecuencia de muestreo

El plan de monitoreo consistió en dos visitas preliminares a la zona de estudio. La primera se realizó del 12 al 15 de julio del 2016 para reconocer la comunidad de Sacsamarca en el marco del proyecto de cooperación que realiza la DARS. La segunda se realizó para identificar las estaciones de muestreo adecuadas y tomar muestras para ensayar las metodologías, del 13 al 16 de octubre del 2016. Finalmente, dos campañas de monitoreo fueron programadas, en base al régimen hidrológico de la subcuenca, fueron en marzo y agosto del 2017. Pero, se modificaron las fechas debido a que el tránsito en la carretera hacia el pueblo se restringió por las intensas lluvias y el desborde del río (77), lo que impidió poder realizar el muestreo en época de lluvias (diciembre-marzo). Cabe resaltar que este fuerte periodo de lluvia coincidió con el Fenómeno de El Niño Costero que se dio en Perú. Finalmente, la primera campaña se realizó del 8 al 11 de junio del 2017, mes de más baja precipitación, y la segunda, del 7 al 10 de setiembre del 2017, época de bajo caudal del río y poca precipitación, también perteneciente a la temporada seca.

3.1.2 Estaciones de muestreo

Se seleccionaron ocho estaciones de muestreo, georreferenciadas con un GPS Garmin Monterra. Se evaluó la accesibilidad a los lugares y la representatividad de las muestras. En el caso del río Caracha, este cuenta con una gran cantidad de bloques de rocas en su lecho (como se puede ver en las figuras 17 y 19), lo cual estanca el agua en sus orillas. Estas piedras permitieron acercarse al centro del cauce donde el flujo del agua era constante. En el caso de la laguna, se accedió cerca a la zona de captación de agua, donde se alcanzaba una profundidad de 1.40 m aproximadamente. El lago no es navegable y no se podía acceder al centro de este, también por la vegetación que presentaba (ver figura 25).

Las visitas de inspección del 12 de julio y 13 de octubre del 2016, previas al muestreo, también ayudaron en la definición de las estaciones, ya que se constató que la población del anexo de Colcabamba no cuenta con un sistema de tratamiento de sus aguas residuales, ni saneamiento para toda su población.

La poza de oxidación se encontraba inoperativa desde la primera visita, y recién en la segunda visita del 2017 se encontraba en reparación (ver figura 16). El puquial del pueblo de Sacsamarca se ha convertido en un centro de lavado de prendas de vestir, donde las mujeres utilizan diversos detergentes comerciales. El reservorio recibe solo un tratamiento de cloración eventualmente (cloración por goteo) por personal del municipio provincial y la captación de agua solo cuenta con barreras. Se comprobó que la laguna de Uerpoccocha, que abastece el reservorio de Sacsamarca, cuenta con un cerco de un lado, pero el otro se encuentra abierto, y se encontraron caballos abrevando. En la tabla 6 y la figura 18 se describe la ubicación de las estaciones definidas para la investigación.

Tabla 6. Estaciones de muestreo.

Estación de muestreo		Coordenadas UTM		Altitud (m s. n. m.)
Código	Descripción	Sur	Oeste	
E1	Río Caracha, antes de tributario	13° 58' 53,51"	74° 19' 57,48"	3501
E2	Río Colmapacchca	13° 58' 52,99"	74° 19' 25,37"	3550
E3	Río Caracha, antes de descarga	13° 56' 47,75"	74° 19' 18,71"	3283
E4	Efluente de poza	13° 56' 42,33"	74° 19' 08,59"	3273
E5	Río Caracha, después de descarga	13° 56' 41,55"	74° 19' 08,20"	3271
E6	Puquial	13° 56' 49,74"	74° 18' 40,81"	3470
E7	Reservorio del pueblo	13° 56' 37,33"	74° 18' 37,52"	3530
E8	Laguna Uerpoccocha	13° 55' 57,97"	74° 18' 10,90"	3613

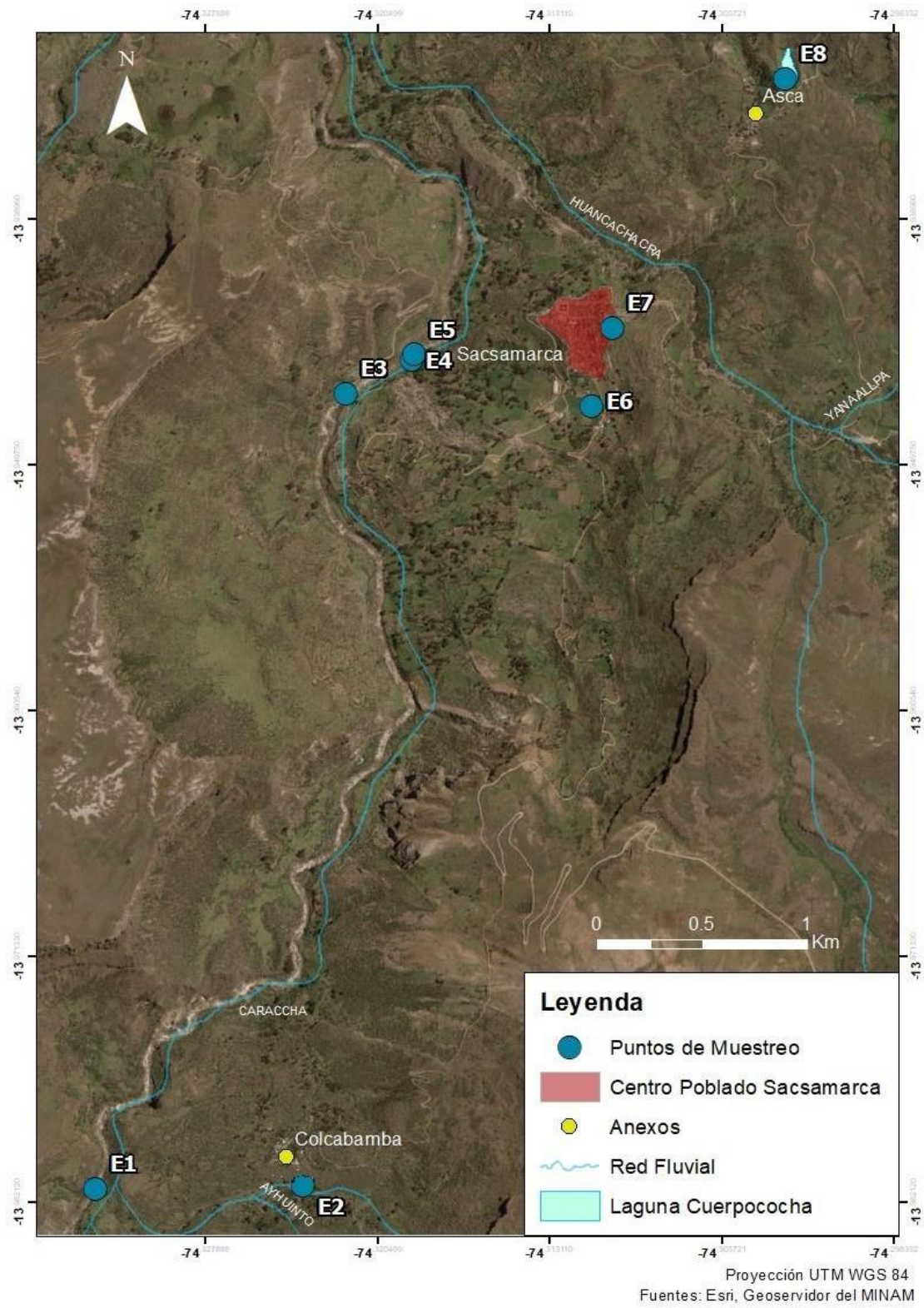


Figura 11. Estaciones de monitoreo en el sistema hidrosocial de Sacsamarca. Por Carolina García.

3.1.2.1 Estación E1

Esta estación de muestreo está ubicada aguas arriba del río Caracha, cerca al anexo de Colcabamba, a una distancia aproximada de 6 km del centro poblado de Sacsamarca. La información que se obtuvo de esta estación permitió conocer las características que presenta el río Caracha antes de recibir a su tributario, el río Colmapaccha. Dicho análisis es relevante puesto que permitió realizar la comparación de la calidad del agua del río Caracha cuando ingresa al sistema hidrosocial trazado.



Figura 12. Estación de monitoreo E1. Por Paulo Corrêa, 08-06-2017.

3.1.2.2 Estación E2

Esta estación de muestreo está ubicada en el río Colmapaccha, que proviene de una cascada de las partes altas, y tributa al río Caracha, en la zona del anexo Colcabamba. Este río es de fácil acceso y uso para los habitantes de Colcabamba que utilizan sus aguas, tanto para el lavado de sus prendas como para bebida de animales y cultivos adyacentes. Si bien la población de Colcabamba es el análisis referencial de este punto, la información de esta estación ayudó a conocer la calidad del río Colmapaccha, cuyas aguas se mezclan con las del río Caracha.



Figura 13. Estación de monitoreo E2. Por Paulo Corrêa, 08-06-2017.

3.1.2.3 Estación E3

Esta estación de muestreo está ubicada en el río Caracha, aproximadamente 200 m antes del punto de descarga del efluente de la poza de oxidación. La muestra permitió conocer las características del agua del río previo a la descarga del efluente.



Figura 14. Estación de monitoreo E3. Por Paulo Corrêa, 08-06-2017.

3.1.2.4 Estación E4

Esta estación de muestreo está ubicada en el punto de descarga del efluente del centro poblado de Sacsamarca, previo tratamiento por una poza de oxidación. La tubería que viene de la poza de oxidación se encuentra oculta entre la vegetación a su llegada al río Caracha. Esta se encuentra en la zona baja de la montaña donde se ubica el pueblo, y casi al nivel del río Caracha. La información permitió conocer las características del agua que es descargada al río, y si estas cumplen con los LMP dados por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS), y **así** evitar la contaminación del cuerpo de agua receptor. En la figura 20 se puede apreciar el área de descarga del efluente de la poza de oxidación en el río Caracha, y en la figura 21 se muestran las pozas de oxidación en plenos trabajos de mantenimiento durante la visita en octubre 2016.



Figura 15. Estación de monitoreo E4. Por Miguel Mendoza F, 08-06-2017.



Figura 16. Poza de oxidación en reparación. Por Miguel Mendoza F, 14-10-2016.

3.1.2.5 Estación E5

Esta estación de muestreo está ubicada a 50 m después del punto de descarga del efluente de la poza de oxidación. La muestra tomada permitió conocer las características del agua del río Caracha, luego de la recepción del efluente tratado.



Figura 17. Estación de monitoreo E5. Por Miguel Mendoza F, 08-06-2017.

3.1.2.6 Estación E6

Esta estación de muestreo está ubicada en el puquial (caída de agua) que se encuentra dentro del área del centro poblado de Sacsamarca. La información química que se obtuvo permitió conocer las características del agua del puquial, el cual es utilizado por la población para aseo de sus prendas de vestir.



Figura 18. Estación de monitoreo E6. Por Miguel Mendoza F, 08-06-2017.

3.1.2.7 Estación E7

Esta estación de muestreo está ubicada en la parte alta del centro poblado de Sacsamarca. La información química que se obtuvo de este lugar permitió conocer las características del agua del reservorio que abastece a los hogares del centro poblado (508 habitantes), así como a la municipalidad, comercios, escuela y posta médica. El reservorio se encuentra cercado para restringir el acceso.



Figura 19. Estación de monitoreo E7. Por Paulo Corrêa, 08-06-2017.

3.1.2.8 Estación E8

Esta estación de muestreo está ubicada en la laguna de Uerpoccocha, cerca al anexo de Asca, y a una distancia aproximada de 4 km del centro poblado de Sacsamarca. La muestra colectada aquí permitió conocer las características del agua de la laguna que abastece al centro poblado de Sacsamarca mediante un sistema de tuberías que llega a su respectivo reservorio. La laguna tiene un cerco precario; a pesar de eso, se pudo observar a ganado abrevando.



Figura 20. Estación de monitoreo E8. Por Paulo Corrêa, 08-06-2017.

3.1.3 Elección de parámetros

Para la elección de los parámetros de estudio se consideraron tres factores:

- La clasificación de las aguas del río Caracha, categoría III - Aguas para riego de vegetales de consumo crudo y bebidas de animales (25). Ya que la zona es principalmente ganadera y agrícola.
- La visita de inspección a Sacsamarca del 12 al 15 de julio del 2016 para solicitar permiso a la comunidad, donde se pudo conversar con miembros de la municipalidad, dirigentes de la comunidad y personal del centro de salud. Para tomar registro de las conversaciones, de forma oral o escrita, es necesario seguir los protocolos establecidos por la DARS-PUCP que ya venía desarrollando un trabajo de intervención comunitaria, y siempre con el permiso de las personas entrevistadas. En este caso no se tomó registro, ya que el procesamiento de los resultados de las entrevistas no es parte de esta investigación.
- El muestreo piloto realizado del 13 al 16 de octubre del 2016, realizado para precisar la ubicación y el acceso de las estaciones de muestreo, así como corroborar el análisis de los parámetros seleccionados.

Los análisis químicos se realizaron en el Laboratorio de Química Ambiental y Laboratorio de Análisis Instrumental de la Sección Química de la PUCP. Es así que los parámetros a determinar

también dependen de los recursos disponibles como reactivos, equipos y materiales. La determinación cuantitativa se realizó en base a metodologías internacionales estandarizadas.

3.1.4 Toma y preservación de muestras

Cada frasco fue rotulado con el nombre de la estación de muestreo, su ubicación en coordenadas UTM, nombre del responsable del muestreo, la fecha y hora de la toma de muestra y la preservación realizada (1).

El volumen total de muestra colectada fue 2,0 L por estación distribuido de la siguiente manera:

- 1,0 L de muestra preservado con HNO_3 concentrado hasta pH 2,0 para la determinación de metales. Dividido en dos envases de 500 mL.
- 200 mL de muestra filtrada con papel Whatman 42 para fosfatos al momento de coleccionar la muestra; el recipiente de vidrio debe lavarse con una mezcla que contienen volúmenes idénticos de agua y ácido nítrico concentrado ($\text{H}_2\text{O}/\text{HNO}_3$ 1/1 V/V).
- 300 mL de muestra sin filtrar para la determinación de sulfatos y nitratos.
- 200 mL de muestra sin filtrar para la determinación de sólidos totales.
- 300 mL de muestra preservada con H_2SO_4 concentrado hasta pH 2,0 para la determinación de DQO.

Las muestras envasadas se colocaron en una caja térmica (*cooler*) con geles refrigerantes, previamente enfriados. El tiempo de traslado hasta el laboratorio se realizó dentro de las 48 horas de tomadas las muestras. Estas fueron trasladadas por carretera desde Sacsamarca hasta la ciudad de Ayacucho (provincia de Huamanga), y de aquí hasta el Laboratorio de Química Ambiental de la PUCP, en Lima. Las muestras del primer monitoreo fueron trasladadas en avión de Ayacucho a Lima, y las del segundo muestreo en bus, por la restricción de la aerolínea.

Los requisitos para la toma de muestra de agua, preservación y tiempo recomendado para realizar los análisis se especifican en la Tabla 7 (1).

Tabla 7. Requisitos para toma de muestras de agua y su preservación (1).

Parámetro	Material del recipiente	Volumen mínimo de muestra (mL)	Preservación y conservación	Tiempo máximo (almacenamiento)
DQO	P, V	100	Analizar lo más pronto posible, o agregar H ₂ SO ₄ hasta pH<2, refrigerar	28 días
Fosfato	V(A)	100	Filtrar inmediatamente, refrigerar	48 horas
Nitrato	P, V	100	Analizar lo antes posible o refrigerar 4°C	48 horas
Sulfato	P, V	100	Refrigerar	28 días
ST	P, V	200	Refrigerar	2 a 7 días
Metales	P	100	Agregar HNO ₃ hasta pH<2	6 meses
Arsénico	P(A), V(A)	500	Agregar HNO ₃ hasta pH<2, 4°C refrigerar	2 meses
Mercurio	P(A), V(A)	500	Agregar HNO ₃ hasta pH<2, 4°C refrigerar	28 días

(P) = Plástico, (V) = Vidrio y (V(A)) = Vidrio lavado con H₂O/HNO₃ 1/1 V/V.

3.2 Análisis de parámetros fisicoquímicos

3.2.1 Mediciones de parámetros *in situ*

3.2.1.1 Temperatura y pH

Las medidas de la temperatura y pH se realizan en campo en cada punto de muestreo con pHmetro HANNA HI98128, debidamente calibrado con soluciones buffer de pH 4, 7 y 10 (HANNA HI 7004, HI 7007 y HI 7010, respectivamente). La recalibración del equipo se realiza en el área de monitoreo.

3.2.1.2 Conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales

Las mediciones de la conductividad eléctrica (CE) se realizan en campo en cada punto de muestreo con conductímetro HANNA HI98311, debidamente calibrado con solución estándar con conductividad 1413 μ S/cm (HANNA HI 7031). El mismo equipo realiza la medición de TDS, ya que estos parámetros presentan una relación directamente proporcional. La recalibración del equipo se realiza en el área de monitoreo.

3.2.2 Metodologías analíticas

Los parámetros fisicoquímicos se determinaron en el Laboratorio de Química Ambiental y Laboratorio de Análisis Instrumental de la Sección Química de la PUCP utilizando los métodos estandarizados que se muestran en la tabla 8.

Las muestras se trabajan por triplicado y se miden blancos de método para determinar los límites de detección (LOD) y límite de cuantificación (LOQ).

Tabla 8. Métodos analíticos aplicados.

Parámetro	Nombre del método	Referencia método
DQO	Oxidabilidad al permanganato	R. Marín Galvín (78)
Fosfatos	Método colorimétrico del ácido vanadomolibdofosfórico	APHA 4500-P C
Nitratos	Método espectroscópico UV selectivo	APHA 4500-NO ₃ B
Sulfatos	Método turbidimétrico	EPA 375.4
ST	Gravimétrico 103-105°C	APHA 2540 B
Sodio	AAS	APHA 3500-Na B
Calcio	AAS	APHA 3500-Ca B
Magnesio	AAS	APHA 3500-Mg B
Potasio	AAS	APHA 3500-K B
Plomo	AAS	APHA 3500-Pb B
Zinc	AAS	APHA 3500-Zn B
Cobre	AAS	APHA 3500-Cu B
Cadmio	AAS	APHA 3500-Cd B
Hierro	AAS	APHA 3500-Fe B
Mercurio	HG-AAS	EPA 245.1
Arsénico	HG-AAS	IBEROARSEN-CYTED

3.2.2.1 Reactivos utilizados

En la Tabla 9 se presenta la lista de reactivos utilizados en los análisis.

Tabla 9. Lista de reactivos.

Nombre	Fórmula química	Marca	Grado de pureza (%)
Ácido clorhídrico	HCl	Merck	30
Ácido sulfúrico	H ₂ SO ₄	Merck	98-99
Ácido nítrico	HNO ₃	Merck	65
Ácido oxálico	H ₂ C ₂ O ₄	J.T. Baker	99
Cloruro de bario	BaCl ₂	Merck	99
Cloruro de sodio	NaCl	J.T. Baker	99
Etanol	C ₂ H ₆ O	J.T. Baker	99.9
Estándar de As, 1000 mg/L	As(NO ₃) ₂	Merck	99,99
Estándar de Cd, 1000 mg/L	Cd(NO ₃) ₂	Merck	99,99
Estándar de Ca, 1000 mg/L	Ca(NO ₃) ₂	Merck	99,99
Estándar de Cu, 1000 mg/L	Cu(NO ₃) ₂	Merck	99,99
Estándar de Fe, 1000 mg/L	Fe(NO ₃) ₂	Merck	99,99
Estándar de Mg, 1000 mg/L	Mg(NO ₃) ₂	Merck	99,99
Estándar de Hg, 1000 mg/L	Hg(NO ₃) ₂	Merck	99,99
Estándar de Pb, 1000 mg/L	Pb(NO ₃) ₂	Merck	99,99
Estándar de K, 1000 mg/L	KNO ₃	Merck	99,99
Estándar de Na, 1000 mg/L	NaNO ₃	Merck	99,99
Estándar de Zn, 1000 mg/L	Zn(NO ₃) ₂	Merck	99,99
Fosfato de potasio monobásico	KH ₂ PO ₄	Merck	99
Glicerina	C ₃ H ₈ O ₃	J.T. Baker	99
Hidróxido de sodio	NaOH	Merck	99,9
Metavanadato de amonio	NH ₄ VO ₃	Merck	99
Molibdato de amonio	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ ·4H ₂ O	J.T. Baker	99
Oxalato de sodio	Na ₂ C ₂ O ₄	J.T. Baker	99
Permanganato de potasio	KMnO ₄	Merck	99
Persulfato de potasio	K ₂ S ₂ O ₈	Merck	99

3.2.2.2 Equipos utilizados

En la Tabla 10 se presenta la lista de equipos e instrumentos utilizados en los análisis.

Tabla 10. Lista de equipos e instrumentos

Equipo	Marca	Modelo
Balanza analítica digital	OHAUS®	Adventurer (sensibilidad 0,1mg)
Estufa	MMM Group	Ecocell 55
Plancha de calentamiento	Thermolyne Corporation	HP-A224OM
Espectrofotómetro UV-Vis	Agilent	8453
Espectrómetro de absorción atómica	Perkin Elmer	PinAAcle 900H

3.2.2.3 Determinación de sólidos totales

La determinación gravimétrica de sólidos totales consistió en la evaporación de 200 mL de muestra homogenizada en una cápsula de porcelana previamente pesada y secada en una estufa a una temperatura constante de 103 – 105 °C, hasta que el peso de la cápsula sea constante. El aumento de peso en la cápsula representó el contenido de ST (79).



Figura 21. Determinación de sólidos totales. Cápsula luego de la evaporación de la muestra. Por Miguel Mendoza F, 15-06-2017.

3.2.2.4 Determinación de demanda química de oxígeno

El método determina el contenido aproximado de materia orgánica en el agua sometida a oxidación química con un reactivo adecuado. El método se basa en una reacción redox entre el permanganato de potasio y sustancias orgánicas reductoras en una muestra de agua. La aplicación de este método es para aguas con bajo contenido de materia orgánica, entre 5 a 20 mg/L. (78)

Para realizar la medición de DQO, se tomó 100 mL de muestra problema, a la cual se le agregó 5 mL H_2SO_4 1:3 (v/v) y 10 mL KMnO_4 0,0125 N. La mezcla se calentó en una plancha de calentamiento durante 10 minutos hasta ebullición, y luego se le agregó 10 mL de ácido oxálico 0,0125 N hasta su decoloración. Finalmente, el ácido oxálico restante en la mezcla caliente se valoró con KMnO_4 0,0125 N. La medida de DQO se obtuvo en mg/L, por diferencia de volúmenes del titulante gastado entre la muestra y el blanco. (78)



Figura 22. Determinación de DQO. Punto inicial de titulación (izquierda) y punto final de titulación (derecha). Por Miguel Mendoza F, 13-09-2017.

3.2.2.5 Determinación de fosfatos

El método elegido es adecuado para soluciones diluidas de ortofosfato que, en medio ácido, reaccionan con el molibdato de amonio formando el ácido molibdofosfórico. Y, al agregar vanadio se forma ácido vanadomolibdofosfórico de color amarillo. La intensidad de este color es proporcional a la concentración de fósforo y la longitud de onda a la que se mide es 420 nm (79).

Para realizar la determinación de fosfatos, se tomó 30 mL muestra problema y se le agregó 10 mL de solución compuesta de molibdato amónico $((\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O})$ y metavanadato de amonio (NH_4VO_3) . La muestra coloreada se midió por espectrofotometría UV-Vis a 420 nm (79).

3.2.2.6 *Determinación de nitratos*

El método elegido se basa en la absorción molecular del nitrato a 220 nm, donde la curva de calibración de nitratos cumple la ley de Beer hasta los 11 mg/L. El método es aplicado para muestras con bajo contenido de materia orgánica porque estas también absorben a 220 nm. Debido a esto, se realiza una segunda lectura a 275 nm para corregir el valor de nitrato, ya que estos no absorben a esa longitud de onda. Se puede usar esta medida para determinar la interferencia debida a la materia orgánica. (79)

Para determinar nitratos se tomó 25 mL de muestra problema y se le adicionó 0,5 mL HCl 1,0 N. Finalmente, la mezcla obtenida se midió por espectrofotometría UV-Vis a longitudes de onda fijas de 220 y 275 nm (79).

3.2.2.7 *Determinación de sulfatos*

Para la determinación del contenido de sulfatos en las muestras de agua se utilizó el método turbidimétrico, el cual consiste en la reacción entre el anión sulfato y el catión bario divalente en medio ácido formando el sulfato de bario insoluble. Se le adiciona una solución acondicionadora, compuesta de HCl concentrado, etanol al 95%, NaCl sólido y glicerina. Esto permite mantener los iones sulfatos en suspensión para la lectura en el análisis turbidimétrico a 420 nm. Si no se usa, precipita todo el analito al momento de la adición del cloruro de bario. (80,81)

Para la determinación de sulfatos, se tomó 100 mL de muestra problema y se le agregó 5 mL de la solución acondicionadora. Posteriormente, se le agregó BaCl_2 y se tomó el tiempo de reacción, midiéndose la mezcla, cada 30 segundos por un lapso de cuatro minutos, a 420 nm (ver Figura 33) (80).

3.2.2.8 *Determinación de metales*

Se utilizó el método de espectroscopía por absorción atómica (AAS), que consiste en la medición de la cantidad de energía absorbida por átomos en estado basal, la cual es proporcional a la concentración del elemento analizado en la muestra. Para determinar los contenidos totales de metales en la muestra, esta debe ser digerida para reducir la interferencia por materia orgánica y convertir todo el metal a una forma libre. La espectroscopía por absorción atómica con llama

(FIAS), nebuliza la muestra y luego la disemina en forma de aerosol dentro de una llama de aire-acetileno u óxido nitroso-acetileno. (79,82)

La metodología aplicada fue la misma para todos los metales, con excepción del mercurio y el arsénico, sometiendo las muestras a digestión con HNO₃ concentrado. Después de la digestión, la muestra es llevada a un volumen adecuado para el análisis. Finalmente, se realizaron las mediciones a una longitud de onda fija en el equipo de AAS, de acuerdo al analito por determinar: cadmio (a 228,8 nm), calcio (a 422,7 nm), cobre (a 324,7 nm), hierro (a 248,3 nm), plomo (a 283,3 nm), magnesio (a 285,2 nm), sodio (a 589,0 nm), zinc (a 213,9 nm).

Para el mercurio y el arsénico se utilizó el método de espectroscopía por absorción atómica por generación de hidruros (HG-AAS), debido a su mayor sensibilidad. La técnica de HG-AAS permite cuantificar los elementos mencionados en el orden de ppb o ultra trazas. La muestra disuelta en ácido diluido se mezcló con un agente reductor, tal como una solución de cinc y ácido clorhídrico, cloruro de estaño (SnCl₂) o borohidruro de sodio (NaBH₄), produciendo hidrógeno atómico que reacciona con el metal (82–84).

3.2.2.9 Manejo de residuos

Se realizó un adecuado manejo de los residuos generados de los análisis químicos para la elaboración del presente trabajo. Los residuos del análisis de campo se almacenaron en bolsas de plástico y fueron traídos al laboratorio. Los residuos líquidos del análisis de laboratorio fueron almacenados en contenedores adecuados y luego entregados al Almacén de Química para su disposición final. El material de vidrio roto o con fractura generado durante el trabajo en el laboratorio se dispuso en un contenedor para vidrio roto no contaminado; si el material contenía alguna sustancia tóxica, se dispuso en el contenedor para material de vidrio roto contaminado.

3.3 Enfoque DPSIR

Se consideró el área de estudio como un sistema socioecológico y parte de un ciclo hidrosocial, para lo cual se pudo realizar una caracterización de esta zona mediante el marco de referencia DPSIR (Driving forces, Pressures, State, Impacts and Responses), recomendado por la Agencia Ambiental Europea como un procedimiento adecuado con el desarrollo de una estrategia de evaluación ambiental integral (85).

Las *fuerzas motrices* (*drivers o driving forces*) son los agentes de la producción y consumo (sectores económicos, actividades humanas), que ejercen *presiones* (uso de recursos, uso de la tierra, liberación de sustancias) generando cambios en las condiciones ambientales. El *estado* es la descripción fisicoquímica del área definida, mientras los *impactos* describen como los cambios

afectan a las funciones sociales y económicas sobre el medio ambiente, tales como las condiciones de salud, la disponibilidad de recursos y la biodiversidad. Finalmente, las *respuestas* describen las acciones de la sociedad a los cambios ambientales (86). El marco de referencia DPSIR es muy usado en la descripción de las relaciones entre los orígenes y las consecuencias de problemas ambientales, para así entender sus dinámicas y concentrándose en los conectores entre los elementos DPSIR (87). En la figura 28 se puede ver un esquema general DPSIR para el agua.

El marco DPSIR permite reconocer la interacción de los factores parte del ciclo hidrosocial del centro poblado de Sacsamarca.

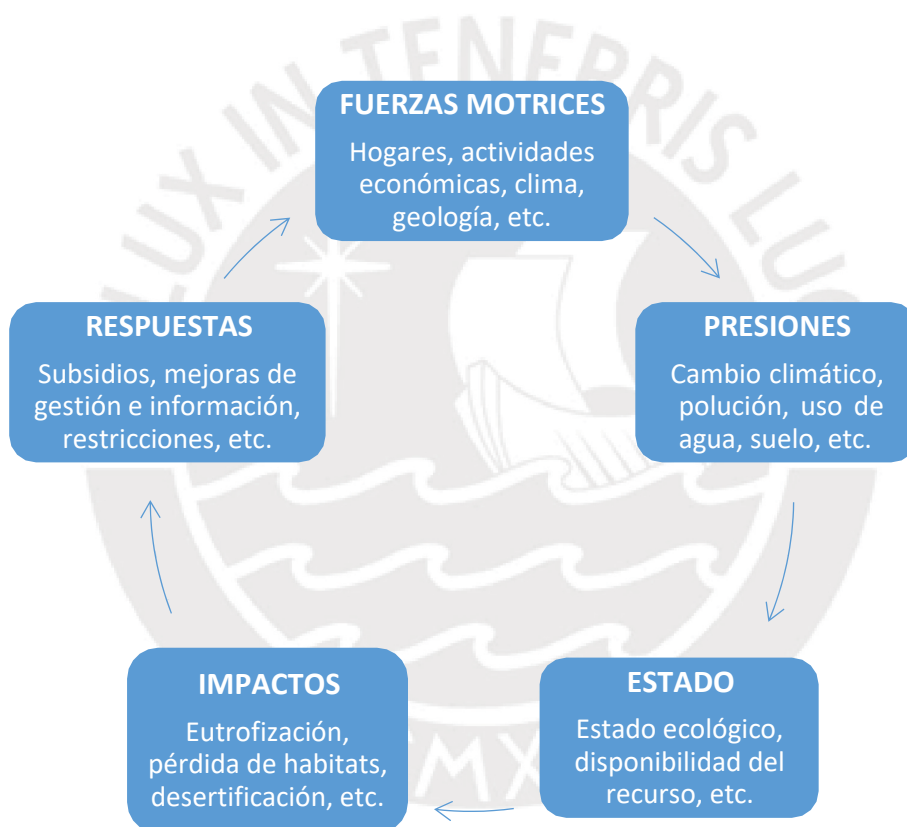


Figura 23. Esquema general del marco DPSIR para agua (85).

La metodología para su implementación como herramienta en la gestión ambiental puede considerarse en 5 etapas, que se describen a continuación (88) :

a) La identificación del área de estudio

Es necesario estudios hidrológicos sobre el sistema hídrico definido, que puede ser desde un cuerpo de agua hasta una cuenca.

b) La caracterización del ambiente

El modelo DPSIR se aplica para analizar la interacción humana con el ambiente y así caracterizar las condiciones que afectan el sistema hídrico definido. El enfoque socioecológico, los estudios biofísicos y la definición de las funciones y servicios del ecosistema contribuyen a la definición de los conductores, presiones, estado e impactos.

c) La cuantificación de indicadores

Para cuantificar las amenazas (*drivers*) y servicios ecosistémicos (*impacts*) se debe realizar una búsqueda bibliográfica para encontrar información que pueda relacionarse. El uso de herramientas de información geográfica contribuye a elucidar los indicadores ambientales. Por otro lado, es necesario complementar con estudios sociales de evaluación y comparación de criterios.

d) La evaluación de la vulnerabilidad

Se calcula el índice de vulnerabilidad a partir de la importancia de las amenazas, la severidad en los servicios ecosistémicos y la probabilidad de ocurrencia.

e) La gestión ambiental

Se implementan las respuestas del enfoque DPSIR, priorizando las amenazas y la vulnerabilidad de los servicios ecosistémicos, conservando así el sistema hídrico definido.

Lo complejo del enfoque requiere el levantamiento de mayor información y el estudio de más variables, más allá de los límites que se pudieron obtener con esta investigación. Así mismo, los vacíos de la data ambiental en el área de estudio limitan una investigación más minuciosa.

En este sentido, se usará el enfoque DPSIR para poder conectar los parámetros químicos estudiados en las diversas fuentes de agua muestreadas, y así devolver a la comunidad de Sacsamarca la información dentro de un marco de referencia que les permita integrar sus quehaceres con el ciclo hidrológico.

Finalmente, para el uso del marco de referencia DPSIR fue necesario precisar los flujos de utilización del recurso hídrico.

En la figura 29 se puede apreciar la organización del análisis del sistema definido por el plan de muestreo de sus aguas.



Figura 24. Análisis de flujos de agua en Sacsamarca.

4. RESULTADOS

4.1 Parámetros *in situ*

4.1.1 Temperatura y pH

Las temperaturas de las fuentes de agua superficial muestreadas en las dos campañas difieren entre 0,2 y 2°C para todas las estaciones con excepción de E2, donde hay una diferencia de 5,5°C, como se aprecia en la tabla 11.

El nivel de pH de las aguas superficiales se encuentra alrededor de 7. Esta tendencia a la neutralidad se puede observar tanto en las muestras de río como en las de otras fuentes, con excepción de la estación E6, segunda campaña, donde se observa un descenso mayor a 2 unidades de pH. Salvo este caso, los demás valores pertenecen al rango establecido por sus respectivos parámetros (ECA o LMP). En la tabla 11 se pueden apreciar los valores de pH obtenidos.

4.1.2 Conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales

Las mediciones de CE entregaron valores en el orden de 400 a 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para las muestras en el río Caracha (estaciones E1, E3 y E5), entre 100 y 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para las estaciones E4 y E6, y menor que 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para las estaciones E2, E7 y E8.

El equipo de medición portátil permite cuantificar los TDS en función de la medida de conductividad, por lo que se registran resultados proporcionales a esta última. En la tabla 11, se pueden observar valores de TDS menores que 100 ppm para las estaciones E2, E4, E6, E7 y E8; y valores entre 200 y 500 ppm para las estaciones en el río Caracha (E1, E3 y E5).

El valor registrado para la estación E7 está muy por debajo del valor límite (1000 ppm) establecido por el reglamento de calidad de agua para consumo. Las otras estaciones no cuentan con un límite oficial establecido para contrastar los valores.

Tabla 11. Resultados de los parámetros medidos in situ.

Estación	Descripción	pH		Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)		Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)		TDS (ppm)	
		10.06.2017	10.09.2017	10.06.2017	10.09.2017	10.06.2017	10.09.2017	10.06.2017	10.09.2017
E1	río Caracha	7,64	6,71	459	843	12,9	12,0	256	437
E2	río Colmapaccha	7,96	7,10	47	60	11,1	16,6	16	32
E3	río Caracha	7,20	7,19	457	767	14,5	14,7	240	396
E4	efluente de la poza de oxidación	8,32	7,66	217	185	21,8	23,8	109	96
E5	río Caracha	7,27	7,67	465	754	17,5	16,3	243	393
E6	Puquial	7,63	5,20	116	143	12,9	10,6	58	75
E7	reservorio	7,34	7,26	225	75	12,1	12,4	67	39
E8	laguna Uerpococha	7,68	7,59	72	57	14,3	15,7	32	30

4.2 Parámetros fisicoquímicos

Los análisis se realizaron por triplicado (n=3) y los resultados se muestran como un promedio de valores obtenidos con su respectiva desviación estándar.

4.2.1 Fosfatos

Las concentraciones de fosfatos en la segunda campaña de muestreo son mayores que 1,0 mg/L, mientras que en la primera campaña se observan valores menores que 0,5 mg/L, con excepción de la estación E4, como se aprecia en la tabla 12.

Tabla 12. Concentraciones de fosfatos.

Estaciones	Descripción	Fosfatos (mg/L)	
		10.06.2017	10.09.2017
E1	río Caracha	0,1076 ± 0,0672	1,0590 ± 0,0389
E2	río Colmapaccha	0,0400 ± 0,0307	3,0644 ± 0,0251
E3	río Caracha	0,1145 ± 0,0595	0,6178 ± 0,0657
E4	efluente de la poza de oxidación	7,4325 ± 0,1522	8,8356 ± 0,0722
E5	río Caracha	0,1881 ± 0,1001	1,3599 ± 0,1118
E6	Puquial	0,8373 ± 0,0426	1,5158 ± 0,0992
E7	Reservorio	0,0542 ± 0,0196	1,7744 ± 0,0710
E8	laguna Uerpococha	0,2028 ± 0,0120	1,1171 ± 0,0937

4.2.2 Nitratos

Las concentraciones de nitratos en la segunda campaña de muestreo son mayores que 1,8 mg/L para las estaciones E2, E4, E6, E7 y E8, y menores que 1 mg/L en las estaciones E1, E3 y E5, que corresponden al río Caracha. En la primera campaña, todos los valores determinados de nitratos fueron menores que 0,05 mg/L (ver tabla 13).

Tabla 13. Concentraciones de nitratos.

Estaciones	Descripción	Nitratos (mg/L)	
		10.06.2017	10.09.2017
E1	río Caracha	0,1635 ± 0,0136	0,5799 ± 0,0912
E2	río Colmapaccha	0,1129 ± 0,0086	2,2738 ± 0,0401
E3	río Caracha	0,1101 ± 0,0567	0,4207 ± 0,0421
E4	efluente de la poza de oxidación	3,0147 ± 0,0130	2,7896 ± 0,1199
E5	río Caracha	0,7628 ± 0,0138	0,6098 ± 0,3022
E6	Puquial	1,3469 ± 0,0228	2,6041 ± 0,7110
E7	Reservorio	1,8152 ± 0,0132	3,6917 ± 0,0197
E8	laguna Uerpococha	0,7297 ± 0,0203	1,8341 ± 0,0438

4.2.3 Sulfatos

Las concentraciones de sulfatos de la segunda campaña de muestreo no presentan gran variación respecto a los valores de la primera campaña, con excepción de la estación E1 (ver tabla 14).

Tabla 14. Concentraciones de sulfatos.

Estaciones	Descripción	Sulfatos (mg/L)	
		10.06.2017	10.09.2017
E1	río Caracha	54,5818 ± 0,4562	65,9218 ± 0,5699
E2	río Colmapaccha	8,2354 ± 0,1881	10,8694 ± 0,0484
E3	río Caracha	56,5074 ± 0,5593	53,4391 ± 0,4568
E4	efluente de la poza de oxidación	17,6706 ± 1,1450	13,4785 ± 0,3759
E5	río Caracha	51,9775 ± 0,8152	58,7300 ± 0,5287
E6	Puquial	20,1255 ± 0,1791	18,5230 ± 0,4239
E7	Reservorio	7,1420 ± 0,1025	6,8922 ± 0,0502
E8	laguna Uerpococha	8,0587 ± 0,1955	7,2477 ± 0,0918

4.2.4 Sólidos totales

Las concentraciones de ST de la segunda campaña de muestreo registraron aumentos con respecto a la primera campaña para las estaciones E1, E2, E3, E4 y E6.

Tabla 15. Concentraciones de sólidos totales.

Estaciones	Descripción	Sólidos totales (mg/L)	
		10.06.2017	10.09.2017
E1	río Caracha	272,2 ± 1,06	473,7 ± 16,25
E2	río Colmapaccha	64,8 ± 4,60	66,3 ± 4,48
E3	río Caracha	276,0 ± 4,24	460,3 ± 14,75
E4	efluente de la poza de oxidación	324,0 ± 4,95	396,8 ± 1,61
E5	río Caracha	188,7 ± 9,55	138,8 ± 9,45
E6	Puquial	81,0 ± 4,95	87,7 ± 12,35
E7	Reservorio	52,5 ± 4,24	47,3 ± 9,93
E8	laguna Uerpococha	75,0 ± 0,71	21,7 ± 13,18

4.2.5 Demanda química de oxígeno

En general, los valores determinados de DQO son bajos. Son menores en la primera campaña, con excepción de las estaciones E1 y E2 (ver tabla 16).

Tabla 16. Concentraciones de demanda química de oxígeno.

Estaciones	Descripción	Demanda química de oxígeno (mg/L)	
		10.06.2017	10.09.2017
E1	río Caracha	1,47 ± 0,07	1,95 ± 0,25
E2	río Colmapaccha	0,98 ± 0,06	3,23 ± 0,06
E3	río Caracha	1,82 ± 0,14	1,32 ± 0,08
E4	efluente de la poza de oxidación	9,98 ± 0,64	4,67 ± 0,35
E5	río Caracha	2,49 ± 0,04	1,70 ± 0,20
E6	Puquial	0,82 ± 0,14	0,42 ± 0,08
E7	Reservorio	0,47 ± 0,07	0,18 ± 0,03
E8	laguna Uerpococha	1,32 ± 0,00	0,28 ± 0,10

4.2.6 Metales

Para validar los resultados del análisis de metales, en la tabla 17 se pueden apreciar los límites de detección y cuantificación calculados para el análisis de metales por espectroscopía de absorción atómica, así como el rango óptimo de análisis de acuerdo a la metodología utilizada.

Los cationes mayoritarios presentes en las fuentes de agua muestreadas son calcio, magnesio, potasio y sodio (ver tablas 18 y 19). Los elementos traza son arsénico, cadmio, cobre, hierro, mercurio, plomo y zinc (ver tablas 20,21 y 22).

Las concentraciones de calcio, magnesio, sodio y potasio (ver tablas 18 y 19) se encuentran elevadas en las estaciones del río Caracha (E1, E3 y E5). En el caso del potasio, esto se aprecia en menor medida (ver tabla 19).

Las concentraciones de cobre y hierro (ver tabla 20) se encuentran por debajo de lo establecido por los ECA y valores para consumo (<0,2 ppm para el cobre y <0,3 ppm para el hierro). Los valores del cobre en la primera campaña se encuentran por debajo del límite de detección (0,013). Las concentraciones de cadmio se encontraron por debajo del límite de detección (0,076). Las concentraciones de plomo y zinc (ver tabla 21) son menores a lo establecido por los ECA (0,05 ppm para el plomo y 2 ppm para el zinc).

Las concentraciones de mercurio y arsénico (tabla 22) se encuentran en el orden de partes por billón (ppb = µg/L). En el caso del mercurio, los valores se encuentran por debajo de los límites establecidos por los ECA (0,01 ppm). En el caso del arsénico, presenta valores elevados en las estaciones del río Caracha (E1, E3 y E5), los cuales se encuentran cercanos o son mayores a los límites establecidos por los ECA para agua (0,1 ppm).

Tabla 17. Límites de detección y cuantificación para el análisis de metales (79).

Parámetro	Unidades	Límite de detección	Límite de cuantificación	Límite instrumental	Rango óptimo de concentración
Sodio	mg/L	0,122	0,369	0,002	0,03 – 1
Calcio	mg/L	0,802	2,431	0,003	0,2 – 20
Magnesio	mg/L	0,024	0,074	0,0005	0,02 – 2
Potasio	mg/L	0,043	0,129	0,005	0,1 – 2
Hierro	mg/L	0,126	0,381	0,02	0,3 – 10
Cobre	mg/L	0,013	0,04	0,01	0,2 – 10
Zinc	mg/L	0,026	0,08	0,005	0,05 – 2
Plomo	mg/L	0,008	0,023	0,05	1 – 20
Cadmio	mg/L	0,076	0,23	0,002	0,05 – 2
Mercurio	µg/L	1,568	4,752	-	0,2 - 10
Arsénico	µg/L	0,786	2,38	-	5 – 200

Tabla 18. Concentraciones de calcio y magnesio.

Estaciones	Descripción	Calcio (mg/L)		Magnesio (mg/L)	
		10.06.2017	10.09.2017	10.06.2017	10.09.2017
E1	río Caracha	41,2429 ± 3,1874	25,4862 ± 1,0601	6,0839 ± 0,7515	7,1238 ± 0,5130
E2	río Colmapaccha	1,0425 ± 0,2012	1,7595 ± 0,4682	0,5089 ± 0,0260	1,0463 ± 0,0734
E3	río Caracha	14,8096 ± 0,6303	21,8092 ± 6,2316	5,7422 ± 0,6412	6,7921 ± 0,3327
E4	efluente de la poza de oxidación	3,3732 ± 0,1862	5,2674 ± 0,8882	2,4564 ± 0,0624	2,3833 ± 0,0283
E5	río Caracha	14,3942 ± 0,7879	31,7970 ± 1,1604	5,1800 ± 1,1095	6,7032 ± 0,5714
E6	Puquial	0,4322 ± 0,0155	2,6135 ± 2,1488	1,9272 ± 0,0069	2,2184 ± 0,0824
E7	Reservorio	< 0,802	< 0,802	0,9290 ± 0,0054	0,8570 ± 0,0221
E8	laguna Uerpococha	< 0,802	1,7072 ± 0,1872	1,0044 ± 0,2155	0,8983 ± 0,1840

Tabla 19. Concentraciones de sodio y potasio.

Estaciones	Descripción	Sodio (mg/L)		Potasio (mg/L)	
		10.06.2017	10.09.2017	10.06.2017	10.09.2017
E1	río Caracha	25,1266 ± 0,0204	55,3129 ± 5,7637	9,0715 ± 0,5351	12,5985 ± 0,3077
E2	río Colmapaccha	4,3429 ± 0,0107	5,8630 ± 0,6182	2,4895 ± 0,0900	3,5769 ± 0,2276
E3	río Caracha	23,6579 ± 0,0315	50,0029 ± 0,2298	6,9082 ± 0,1373	12,0254 ± 0,1272
E4	efluente de la poza de oxidación	3,8713 ± 0,2684	8,3885 ± 0,1264	11,9844 ± 0,5049	8,6480 ± 0,2124
E5	río Caracha	23,1752 ± 0,1017	58,3104 ± 2,5755	8,1555 ± 0,0844	13,0744 ± 0,4929
E6	Puquial	4,8529 ± 0,0178	4,9032 ± 0,0045	6,3619 ± 0,0884	7,2383 ± 0,1755
E7	Reservorio	3,9146 ± 0,0052	3,1717 ± 0,0061	4,8038 ± 0,2663	5,3462 ± 0,4634
E8	laguna Uerpococha	3,7351 ± 0,0026	3,9675 ± 0,0164	4,9880 ± 0,4251	4,6605 ± 0,0566

Tabla 20. Concentraciones de cobre, hierro y cadmio.

Estaciones	Descripción	Cobre (mg/L)		Hierro (mg/L)		Cadmio (mg/L)	
		10.06.2017	10.09.2017	10.06.2017	10.09.2017	10.06.2017	10.09.2017
E1	río Caracha	< 0,013	0,0187 ± 0,0039	0,1813 ± 0,0214	0,1410 ± 0,0027	< 0,076	< 0,076
E2	río Colmapaccha	< 0,013	0,0156 ± 0,0122	< 0,126	< 0,126	< 0,076	< 0,076
E3	río Caracha	< 0,013	< 0,013	0,1425 ± 0,0113	0,1680 ± 0,0254	< 0,076	< 0,076
E4	efluente de la poza de oxidación	< 0,013	0,0196 ± 0,0087	0,1422 ± 0,0616	0,4882 ± 0,1057	< 0,076	< 0,076
E5	río Caracha	< 0,013	< 0,013	0,1754 ± 0,0135	0,1345 ± 0,0020	< 0,076	< 0,076
E6	Puquial	< 0,013	< 0,013	0,2441 ± 0,0040	0,3488 ± 0,0303	< 0,076	< 0,076
E7	Reservorio	< 0,013	0,0150 ± 0,0036	< 0,126	< 0,126	< 0,076	< 0,076
E8	laguna Uerpococha	< 0,013	< 0,013	< 0,126	< 0,126	< 0,076	< 0,076

Tabla 21. Concentraciones de plomo y zinc.

Estaciones	Descripción	Plomo (mg/L)		Zinc (mg/L)	
		10.06.2017	10.09.2017	10.06.2017	10.09.2017
E1	río Caracha	0,0659 ± 0,0053	0,0237 ± 0,0055	0,1795 ± 0,0006	0,1042 ± 0,0007
E2	río Colmapaccha	0,0160 ± 0,0063	0,0227 ± 0,0071	0,0415 ± 0,0002	0,1050 ± 0,0219
E3	río Caracha	0,0163 ± 0,0015	0,0433 ± 0,0175	0,0407 ± 0,0002	0,0783 ± 0,0003
E4	efluente de la poza de oxidación	0,0466 ± 0,0015	<0,008	0,2612 ± 0,0022	0,0660 ± 0,0051
E5	río Caracha	0,0115 ± 0,0020	0,0120 ± 0,0020	0,0471 ± 0,0002	0,0809 ± 0,0007
E6	Puquial	0,0093 ± 0,0044	<0,008	0,0607 ± 0,0001	0,0509 ± 0,0004
E7	Reservorio	0,0115 ± 0,0048	0,0377 ± 0,0216	0,0459 ± 0,0002	0,0893 ± 0,0001
E8	laguna Uerpococha	0,0389 ± 0,0028	0,0027 ± 0,0031	0,1105 ± 0,0002	0,0399 ± 0,0073

Tabla 22. Concentraciones de arsénico y mercurio.

Estaciones	Descripción	Arsénico ($\mu\text{g/L}$)		Mercurio ($\mu\text{g/L}$)	
		10.06.2017	10.09.2017	10.06.2017	10.09.2017
E1	río Caracha	100,7646 \pm 66,8296	133,8228 \pm 50,5920	< 0,2	< 0,2
E2	río Colmapaccha	2,444 \pm 0,0836	9,0489 \pm 7,9991	< 0,2	< 0,2
E3	río Caracha	99,1534 \pm 65,2994	43,4101 \pm 22,9603	< 0,2	< 0,2
E4	efluente de la poza de oxidación	12,4365 \pm 2,6152	12,0317 \pm 10,3790	< 0,2	< 0,2
E5	río Caracha	92,8466 \pm 59,0672	93,8889 \pm 80,4373	< 0,2	< 0,2
E6	Puquial	5,1032 \pm 0,1455	6,8757 \pm 1,4890	< 0,2	< 0,2
E7	Reservorio	3,3333 \pm 0,4815	2,500 \pm 1,4286	< 0,2	< 0,2
E8	laguna Uerpococha	14,0926 \pm 9,4465	7,9233 \pm 4,6722	< 0,2	< 0,2

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La discusión de resultados está dividida en dos partes: Una con respecto al diagnóstico de la calidad de agua y otra con respecto al diagnóstico hidrosocial en Sacsamarca. Esto debido a que la pregunta de investigación plantea garantizar una adecuada salud ambiental en el centro poblado, entendiéndose por salud ambiental “a las interrelaciones interactivas positivas y negativas del hombre con el medio ambiente donde se habita y trabaja, así como los cambios naturales o artificiales que ese lugar manifiesta y la contaminación producida por el mismo hombre en el ambiente y que puedan afectar a la salud humana” (89). De ahí que sea necesario explicar tanto la afectación de la calidad del agua por factores naturales o sociales, como la afectación de la sociedad por la calidad del agua.

5.1 Diagnóstico de la calidad de agua: Análisis fisicoquímico

5.1.1 Criterios de calidad

Para establecer los criterios de evaluación de calidad de agua fue necesario considerar diversas referencias, ya que el río, el efluente y el reservorio no podían tener los mismos niveles para los distintos parámetros fisicoquímicos, debido a sus esperadas diferencias ambientales. Los ECA considerados para evaluar las aguas del río Caracha fueron los de categoría III, ya que estos referencian actividades agrícolas y ganaderas. Sin embargo, después su promulgación en el año 2008, los ECA para agua sufrieron modificaciones en el 2015 y 2017.

Para evaluar el puquial y la laguna de Uerpoccocha, se consideraron los ECA para agua de categoría III, y se complementaron con la categoría IV, subcategoría E1 (lagos y lagunas) ya que no cumplen exactamente con los requisitos de pertenecer a ecosistemas frágiles, áreas naturales protegidas y/o zonas de amortiguamiento,

Para evaluar la calidad del reservorio, se consideraron los LMP de calidad organoléptica establecidos por el reglamento de agua para consumo humano, dispuesto por el MINSA. Estas se complementaron con algunos parámetros con los valores de la subcategoría A1 (aguas que pueden ser potabilizadas por desinfección) de la categoría 1 A de los ECA para agua.

Para evaluar la calidad del efluente de la poza de oxidación, se consideraron los LMP para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales, establecidos por el MVCS. Finalmente, se consideró también la referencia de valores máximos permisibles dados por la US EPA para algunos parámetros.

En la tabla 23, se pueden apreciar los criterios de calidad usados considerando los ECA para agua, el reglamento de agua para consumo y los LMP para efluente doméstico.

Tabla 23. Criterios de calidad del agua.

Parámetros	Unidad	Valor ECA para agua (MINAM)			Valores EPA de contenido máximo permisible	Valores para agua de consumo (MINSA)	LMP para residuales domésticas (MVCS)
		categoría I – A 1	categoría III 2008 2015-2017				
Temperatura	°C	Δ3	Δ3		Δ3	-	-
pH	Unidades de pH	6,5 - 8,5	6,5 - 8,4*		6,5 – 9,0	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5
Conductividad	μS/cm	1500	<2000	2500	1000	-	1500
TDS	mg/L	1000	-	-	-	-	1000
Fosfatos (P-PO ₄)	mg/L	-	1	-	-	-	-
Nitratos (N-NO ₃)	mg/L	50	10	100**	13	10	-
Sulfatos	mg/L	250	300	1000	-	250	250
Demanda química de oxígeno	mg/L	10	40	40	-	-	-
Sodio	mg/L	-	200	-	-	-	200
Calcio	mg/L	-	200	-	-	-	-
Magnesio	mg/L	-	150	250	-	-	-
Cobre	mg/L	2	0,2	0,2	0,1	1,3	2
Cadmio	mg/L	0,003	0,005	0,01	-	0,005	-
Zinc	mg/L	3	2	2	0,12	5	3
Hierro	mg/L	0,3	1	5	-	0,3	0,3
Plomo	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,0025	0,015	-
Arsénico	mg/L	0,01	0,05	0,1	0,15	-	0,01
Mercurio	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,0001	-	-

*6,5-8,4 para bebida de animales, 6,5-8,5 para riego de vegetales.

**En el ECA para agua 2015 y 2017, el parámetro señalado es la suma Nitratos (NO₃--N) + Nitritos (NO₂--N).

5.1.2 Temperatura y pH

En el presente estudio, las temperaturas del agua más altas se registraron en la estación E4 que corresponde al efluente de la poza de oxidación vertido al río Caracha (ver figura 30). Los residuos líquidos presentan normalmente temperatura más elevada a la de suministro, sin embargo, una temperatura muy elevada tampoco es adecuada para un efluente doméstico rural (90). En este caso, el efluente presenta una temperatura entre 20 y 25°C, mientras la temperatura del agua en el reservorio (E7) y la laguna (E8) oscila entre 12 y 15°C. Así mismo, se puede apreciar que la temperatura del agua va aumentando en la trayectoria del río Caracha (E1, E3 y E5) conforme recibe al tributario E2 y al efluente E4. Este aumento está, a su vez, relacionado a la temperatura del ambiente, ya que el registro de las temperaturas fue realizado en el horario de 7 am a 3 pm desde la E1 a E8. Sin embargo, la diferencia entre la temperatura de efluente y la del receptor es mayor de 5 grados, por lo que se estaría generando una afectación térmica, ya que el ECA referencia un límite de variación de 3°C.

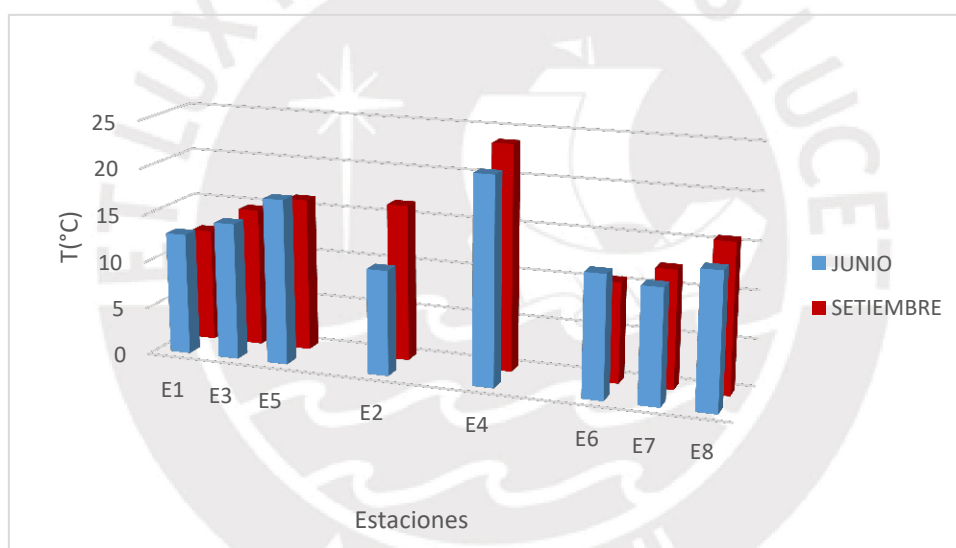


Figura 25. Temperatura correspondiente a las dos campañas de muestreo.

En la figura 31, se observa la tendencia del pH, cuyos valores oscilan entre 6 y 8 en las dos campañas, en la mayoría de casos. Según el actual ECA para agua – Categoría III, los parámetros fisicoquímicos para agua de consumo, así como los LMP, establecen un rango permisible de pH de 6,5 a 8,5, el cual se cumple en todas las estaciones de monitoreo.

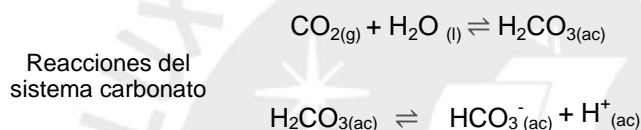
En las dos campañas de muestreo se pueden apreciar variaciones en las estaciones del río Caracha (E3 y E5), luego de la recepción del río tributario Colmapaccha (E2) y la caída del efluente

(E4). En el caso de la E4, muestra los valores más altos en ambas campañas, lo que se puede atribuir a que el pH de las pozas de oxidación suele ser más alto ante la intensidad luminosa, debido a la presencia de organismos fotosintéticos que secuestran el CO₂ para la reacción de fotosíntesis, pudiendo alcanzar valores cercanos a 9, partiendo de 7-7,5 (91).



Sin embargo, cabe destacar que durante la primera campaña se estaban haciendo operaciones en el sistema de tratamiento, por lo que no se encontraba en funcionamiento (ver figura 17).

En la segunda campaña se registra un valor de pH de 5,20 en la estación E6, el cual está por debajo del rango establecido por el ECA de agua – Categoría 3. Esta acidez se puede deber, generalmente, a los ácidos minerales, orgánicos y sales que sufren hidrólisis ácida, así como al sistema carbonato, que es el principal regulador de pH en los sistemas acuáticos.



En el caso de los ácidos orgánicos, estos provienen de la descomposición de materia vegetal y animal.

El bajo valor de pH en la estación E6, con respecto a las demás, podría deberse a que el área del puquial tiene mucha vegetación y es usado como área de pastoreo, los vacunos dejan su estiércol, distribuido por todo el área. Todo esto aporta a la formación de ácidos débiles orgánicos provenientes de la descomposición de materia orgánica (45).



El agua del puquial se origina por infiltración de fuentes subterráneas y, si bien no existen estándares de calidad para el agua subterránea, los valores hallados se pueden contrastar con los ECA de agua superficial, encontrándose por debajo de este límite. Sin embargo, podría tratarse también de un valor atípico registrado en setiembre, o ser consecuencia de la naturaleza de los suelos por los que el agua se filtra, pero no se cuenta con información para hacer tal afirmación.

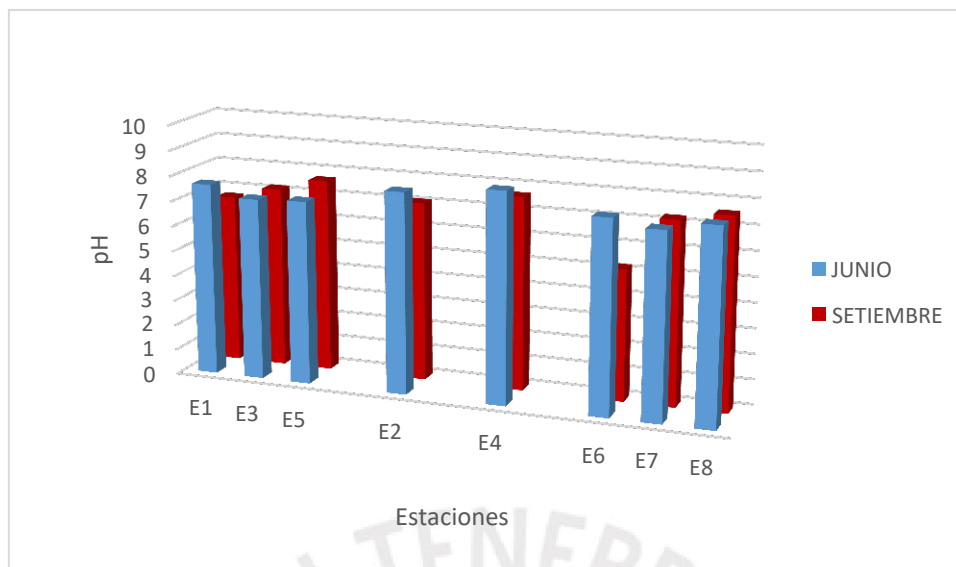


Figura 26. pH correspondiente a las dos campañas de monitoreo.

En el centro de salud de Sacsamarca se tuvo acceso a los reportes de vigilancia de calidad de agua de enero a agosto del 2017. Lamentablemente, son reportes muy básicos que sólo indican el cumplimiento del límite de cloro residual (<0,5 mg/L) en puntos de monitoreo ubicados en la red pública del centro poblado, y el pH en la fuente de captación de agua (laguna). Los valores de pH en la laguna se encuentran entre 6 y 7 unidades (ver tabla 24), aunque no precisan el nombre cuerpo de agua ni la metodología o equipo utilizado para tal fin.

Tabla 24. pH registrado en la laguna (*).

Mes	pH en punto de captación: Laguna
enero	6,5
febrero	6,7
marzo	6,5
abril	6,5
mayo	5
junio	6,5
julio	6,0
agosto	6,0

(*) Esta tabla está construida con la información de los reportes de monitoreo de calidad de agua del centro de salud que se encuentran en el anexo 1.

5.1.3 Conductividad eléctrica y TDS

En la figura 32, se observan los valores de CE registrados en las dos campañas, con niveles por debajo de 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para todas las estaciones, por lo que no superan el límite establecido por los ECA para agua. En la segunda campaña de monitoreo se observa que la CE aumentó considerablemente en las estaciones correspondientes al río Caracha (E1, E3 y E5), lo que estaría asociado a una disminución del caudal, ya que en junio el río presenta un caudal promedio de 13,3 m^3/s y en setiembre de 10 m^3/s (22). Por lo general, mayor índice de acidez corresponde a valores altos de conductividad; esto se puede apreciar en las estaciones del río Caracha (ver figuras 31 y 32) donde el pH disminuye hacia la segunda campaña, mientras la conductividad se eleva. Esto puede deberse a la disminución del caudal que concentra las sales disueltas aumentando CE o a que los iones están siendo capturados por el suelo, capacidad de intercambio iónico, por lo que un estudio complementario de sedimentos sería propicio.

El mismo comportamiento no se observa en el río Colmacpacha, ya que los dos ríos tienen características diferentes (el río Colmacpacha es más pequeño, de menor caudal y una mayor pendiente pues proviene de una cascada hasta su desembocadura en el río Caracha, el cual es más grande y presenta mayor turbulencia), de ahí que los valores en la E2 sean mucho más bajos. No obstante, los procesos de resuspensión y redisolución de los sedimentos pueden estar afectando la conductividad.

En las otras estaciones se registraron valores por debajo de 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$, donde los valores de CE no difieren en las campañas de junio y setiembre, con excepción de la E7, que corresponde al reservorio. En este último caso, podría deberse a que el reservorio cuenta con un sistema de cloración por goteo implementado en octubre del 2016, según el operario municipal responsable. El cloro agregado al reservorio genera ácido hipocloroso (HOCl) y el ión hipoclorito (OCl^-) (92). Estos productos afectan tanto la CE como la concentración de TDS.

Los valores de CE registrados en todas las estaciones se encuentran dentro de lo establecido por los ECA para agua y el reglamento para agua de consumo. El valor en E4 no cuenta con LMP (ver tabla 23), mientras los valores de CE en E6 y E8 presentan valores bastante bajos, menores que 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

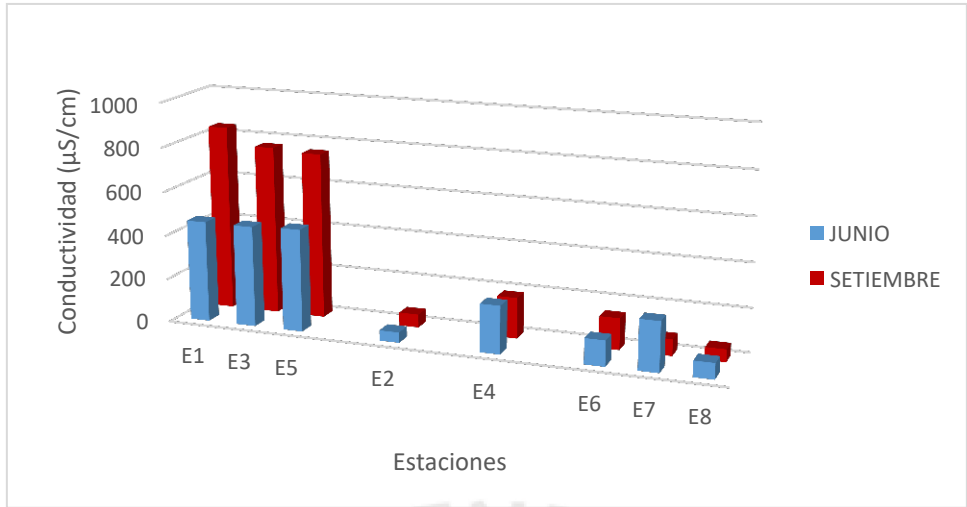


Figura 27. Conductividad correspondiente a las dos campañas de monitoreo.

Los TDS que se muestran en la figura 33, se encuentran en función de la CE, ya que se están considerando sólidos disueltos conductores de la electricidad. Por esta razón, presenta el mismo comportamiento que los valores de CE.

Las estaciones E2, E6, E7 y E8 arrojaron valores bajos de calcio, magnesio y sodio (ver tablas 18 y 19), mientras las estaciones en el río Caracha mostraron valores altos. Esta correlación explicaría el tipo de sales disueltas presentes en estas aguas y a las cuales también se debería su conductividad.

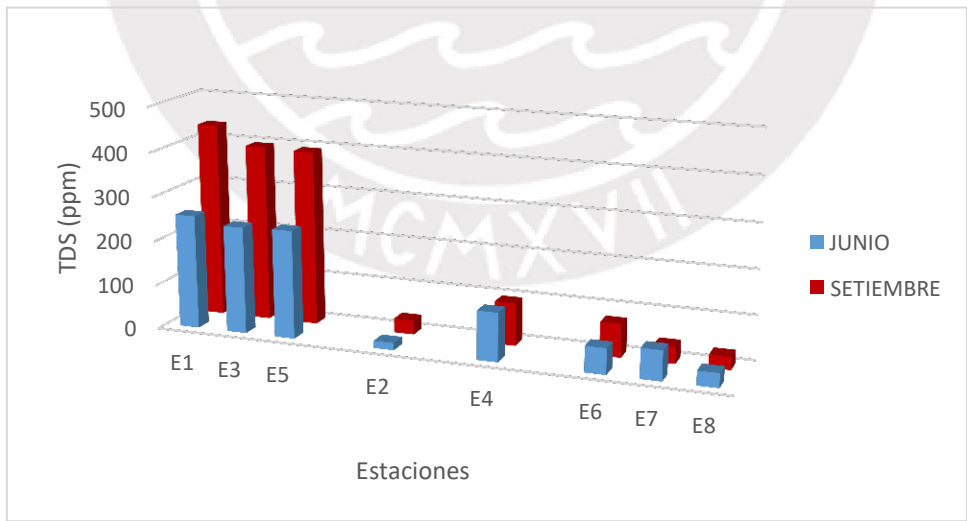


Figura 28. Sólidos totales disueltos correspondiente a las dos campañas de monitoreo.

5.1.4 Sólidos totales

Las concentraciones de ST halladas son bajas (ver tabla 15). Estos valores son parecidos a las concentraciones de TDS (ver tabla 11), lo que quiere decir que la mayoría de sólidos encontrados se encuentra disuelta y no suspendida. En la figura 34 se puede apreciar que las concentraciones de ST son mayores, tanto en la primera como en la segunda campaña, para las estaciones que corresponden al río Caracha (E1, E3 y E5), principalmente en la segunda, que puede deberse a la disminución del caudal (meses finales de la época seca). Los límites de sólidos totales no se encuentran establecidos en la bibliografía consultada, sin embargo, en función de los niveles de TDS, se pueden considerar bajos también.

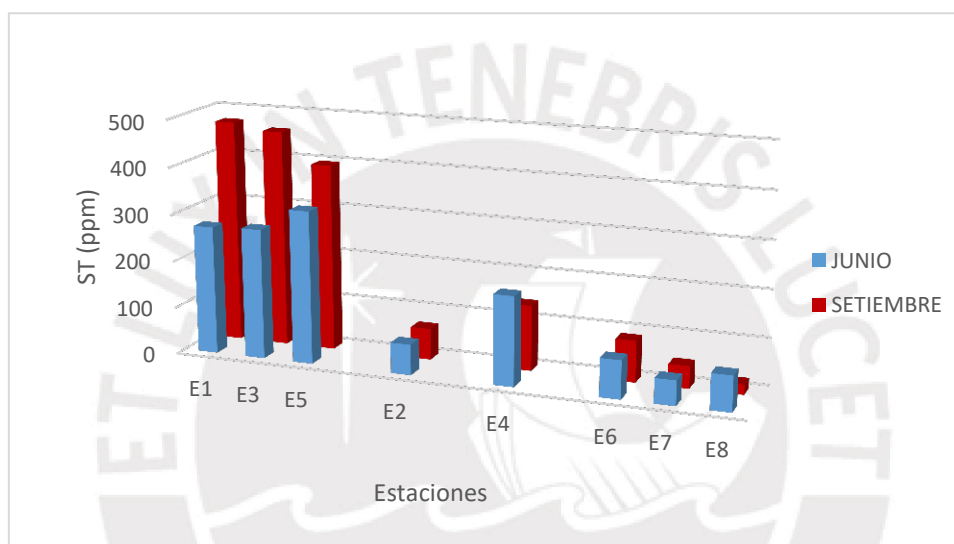


Figura 29. Sólidos totales correspondiente a las dos campañas de monitoreo.

5.1.5 Demanda química de oxígeno

En la figura 35 se puede observar que las estaciones E6, E7 y E8 presentan valores alrededor o menores que 1 mg/L. Los valores para las estaciones de los ríos (E1, E2, E3 y E5) son mayores, encontrándose entre 1 y 3 mg/L. Destaca el valor de E2 en la segunda campaña, sin embargo, el río Colmapaccha estaba casi seco, y la muestra se tomó de uno de los rezagos empozados de agua, por lo que no es representativa del río. La disminución del caudal también permite el ingreso de animales bovinos que dejan excremento. La estación E4 presenta los valores mayores, que llegan a un máximo de casi 10 mg/L en la primera campaña, esto debido a que los efluentes domésticos son fuente de materia orgánica. La diferencia de valores entre una campaña y otra se debería a que, en junio del 2017, la poza de oxidación se encontraba aún en mantenimiento por lo que sus aguas no estarían siendo tratadas, y en la siguiente campaña se habían terminado los trabajos en ella.

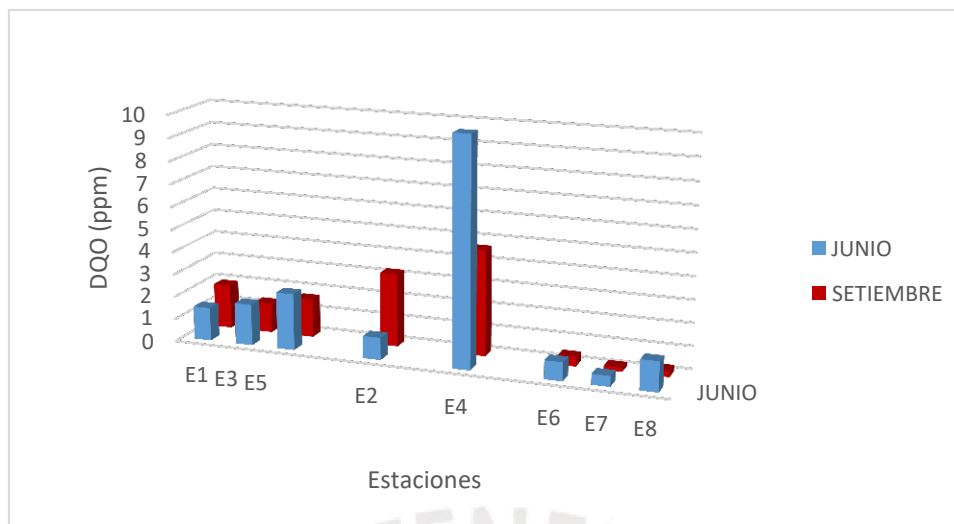


Figura 30. Demanda química de oxígeno correspondiente a las dos campañas de monitoreo.

5.1.6 Fosfatos

En la segunda campaña, el contenido de fosfatos aumentó en todas las estaciones, como se muestra en la figura 36. La mayoría de estos valores se encuentran por encima de 1 mg/L, siendo el único valor de fosfato menor que 1 mg/L aquel hallado en la estación E3 (río Caracha). Los ECA para agua - categoría III 2017 no establecen un límite para este parámetro a pesar de que el ECA 2008 sí establecía un límite de 1 mg/L. El ECA 2017 no establece ningún parámetro asociado al fósforo para la categoría 3, lo cual resulta sorprendente ya que tanto fósforo como nitrógeno son nutrientes comunes y principales índices de eutrofización en las fuentes de agua.

En el caso de la estación E2 (río Colmapaccha), al haber disminuido mucho su volumen por la ausencia de lluvias, el ganado bovino de los pobladores del anexo de Colcabamba ingresa en el cauce a beber y dejan sus excretas. El efluente (E4) tiene un registro bajo de concentración de fosfatos, alrededor de 8 mg/L, cuando el valor usual está por encima de 20 mg/L de fosfato (93). Esta concentración no se podría atribuir a la capacidad de eliminación de fosfato por parte del sistema de tratamiento, ya que en el mes de junio la poza de oxidación se encontraba en remodelación y, por ende, no está en funcionamiento. Sin embargo, cabe mencionar que el desarrollo de ciertas algas se da con niveles de PO_4^{3-} de sólo 0,05 mg/L, y la inhibición del crecimiento de estas requiere niveles por debajo de este valor (93). Esta puede ser la principal razón de la eutrofización de ciertos cuerpos de agua, como la laguna de Uerpoccocha, el puquial y el río Colmapaccha.

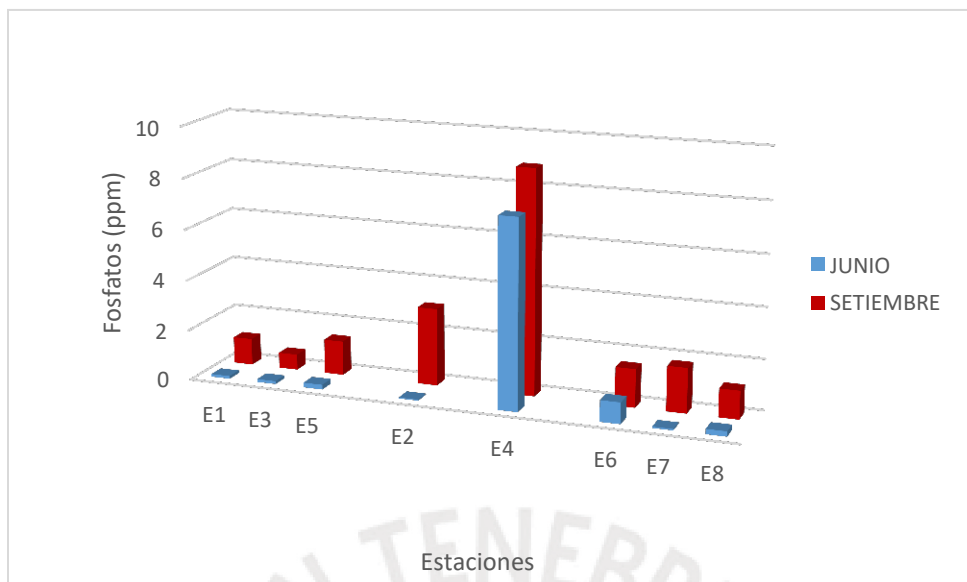


Figura 31. Fosfatos correspondientes a las dos campañas de monitoreo.

5.1.7 Nitratos

Los valores de nitratos en la segunda campaña resultaron mayores que en la primera para casi todos los casos, con excepción de la estación E4, donde ambos resultados fueron casi similares (ver tabla 13). Al igual que con los límites de fosfatos, el ECA para agua – categoría III 2017 considera un único parámetro que integra los valores de nitratos ($\text{NO}_3\text{-N}$) y nitritos ($\text{NO}_2\text{-N}$) estableciendo un límite de 100 mg/L, mientras que en el ECA para agua 2008, que también considera US-EPA, se establecía un límite de 10 mg/L sólo para nitratos (ver tabla 23). Si se considera este límite, todos los valores hallados se encuentran por debajo, principalmente en las estaciones del río Caracha (E1, E3 y E5), como se puede ver en la figura 36. Cabe considerar que es más común encontrar al ión nitrato en fuentes de agua subterránea, variando según la zona de influencia de las actividades humanas (94). En la estación E2, los valores de nitratos experimentan un aumento, al igual que los fosfatos y DQO, debido a la disminución del caudal y el ingreso del ganado.

La laguna de Uerpoccocha (E8), que abastece al reservorio (E7) de Sacsamarca, es una fuente natural que se asume no recibe aguas residuales. Sin embargo, muestra valores más altos que el río que sí los recibe; lo mismo sucede con el puquial (E6). No obstante, no superan los 13 mg/L de nitratos que establece la categoría IV para lagunas. Esto podría deberse que la población posee chacras y realizan sus actividades ganaderas en las partes altas (95). A pesar de que en setiembre aún no empieza la temporada de precipitaciones, las personas informaron de fuertes lluvias

atípicas los días previos a la segunda campaña. Su intensidad puede contribuir a la migración de iones en las aguas en favor de la pendiente favoreciendo la infiltración (95). Ambos procesos pueden considerar un posible aporte a la concentración de nitratos, así mismo la gran presencia de vegetación, principalmente, en el caso de la laguna. Cabe destacar que el aumento de nitratos en las aguas subterráneas es peligroso porque puede afectar a la salud de la población, ocasionando metahemoglobinemia (96).

Si bien la eutrofización es un proceso natural, la aceleración de este proceso es producto de la contaminación. Cabe precisar que un cuerpo de agua eutrófico tiene alto nivel de productividad, puede tener transparencia y alta cantidad de plantas acuáticas (97). Tanto el puquial como la laguna cumplen estas características y presentan una eutrofización media, pero tampoco presentan niveles muy altos de los nutrientes asociados (fosfatos y nitratos), por lo que se necesita un estudio más prolongado que evalúe la capacidad de resiliencia, principalmente, de la laguna de Uerpococha, contra el incremento de la vegetación en ella y que puede afectar su calidad.

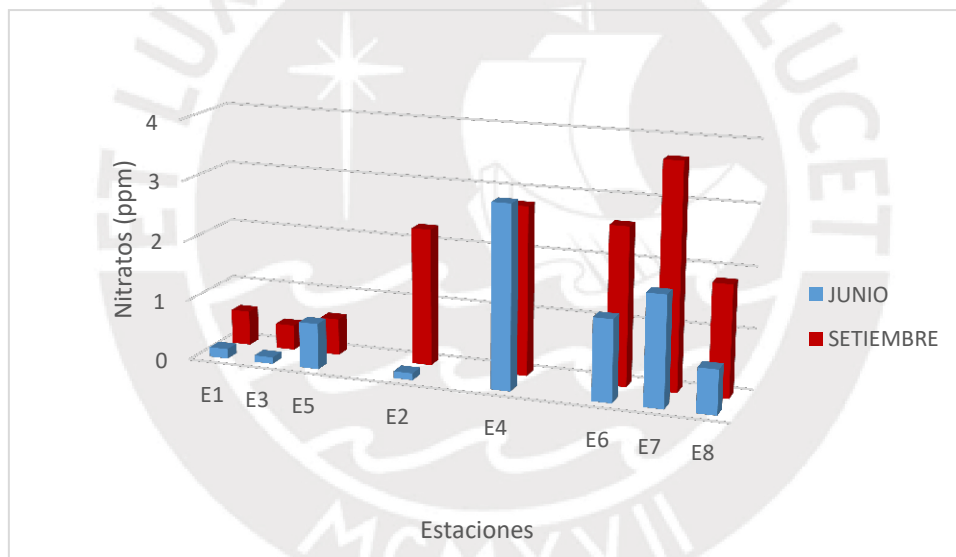


Figura 32. Nitratos correspondientes a las dos campañas de monitoreo.

5.1.8 Sulfatos

Tanto en la primera como en la segunda campaña, las concentraciones de sulfato fueron mayores a 50 mg/L en las estaciones del río Caracha (E1, E3, E5) (ver tabla 14). Así mismo, se pueden apreciar valores de sulfatos muy similares entre junio y setiembre. Los ECA para agua - categoría III 2017 establecen un límite de 1000 mg/L, sin embargo, en el 2008 tenía un límite de 300 mg/L, más cercano al valor de 250 mg/L señalado por la US-EPA, y por el reglamento para consumo de

agua (ver tabla 23). Como se muestra en la figura 38, las demás estaciones reportan valores mínimos, muy por debajo de los límites establecidos.

Estos valores altos en el río Caracha coinciden con los reportados para CE y TDS (ver figuras 31 y 32), encontrándose sales de sulfato disueltas a partir de las superficies rocosas en el río Caracha. El vertimiento de residuos domésticos en el río podría ser una razón que explique los niveles de sulfatos, debido al uso de detergentes para el lavado de sus prendas (44).

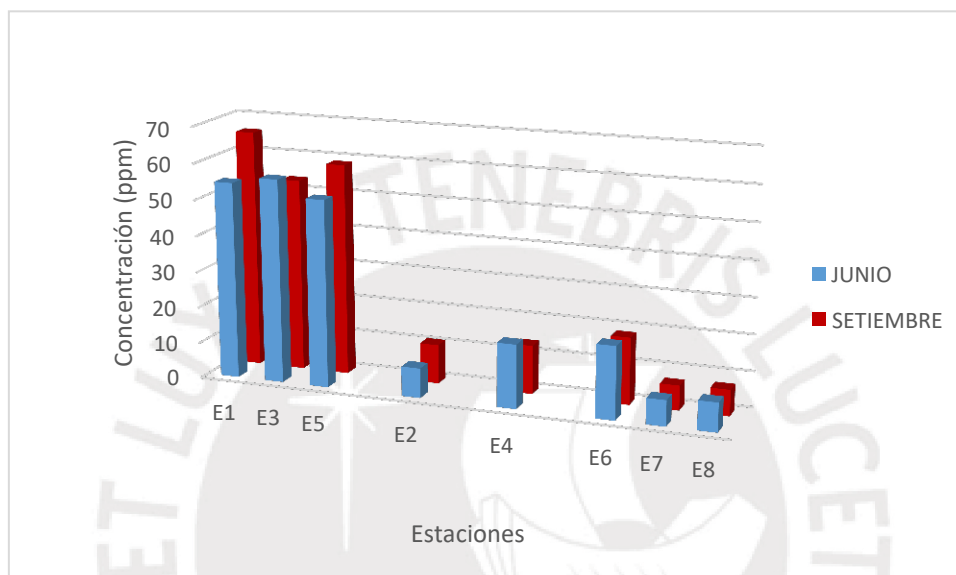


Figura 33. Sulfatos correspondientes a las dos campañas de monitoreo.

5.1.9 Metales

Las figuras 39 y 40 muestran los resultados del análisis de calcio y magnesio respectivamente, en las ocho estaciones de monitoreo. Ambos elementos no se encuentran libres en la naturaleza, y su forma principal es como carbonatos (CaCO_3 y MgCO_3) o formando otras sales minerales. Generalmente, el calcio se encuentra en cantidades mayores al magnesio (98).

Las concentraciones mayores de ambos elementos se hallaron en las estaciones del río Caracha (E1, E3, E5). En las demás estaciones se pueden encontrar valores por debajo de 5 mg/L. Los ECA para agua – Categoría III 2008 establecían un límite de calcio y magnesio de 200 mg/L y 150 mg/L, sin embargo, en la última versión 2017 se suprimió un límite para calcio, y se incrementó el de magnesio a 250 mg/L, a pesar de ser los principales indicadores de la dureza del agua. Los valores registrados en las estaciones E1, E3 y E5 son menores a los límites establecidos.

Se observa en la estación E1 que la concentración de calcio disminuye de la primera a la segunda campaña. Pero, debido a la disminución del caudal, esta debería aumentar, como sucede en las estaciones E3 y E5. La concentración de calcio disminuye, luego de recibir al río tributario Colmapaccha y la descarga del efluente de la poza de oxidación en la primera campaña, lo que no se repite en la segunda campaña, por lo que las cantidades registradas no se deberían a causas antropogénicas, sino a cuestiones naturales propias de rocas en el lecho del río Caracha.

En el caso del magnesio, las concentraciones se elevan de la primera a la segunda campaña en las estaciones del río Caracha (E1, E3 y E5), propio de la disminución del caudal por la ausencia de lluvias.

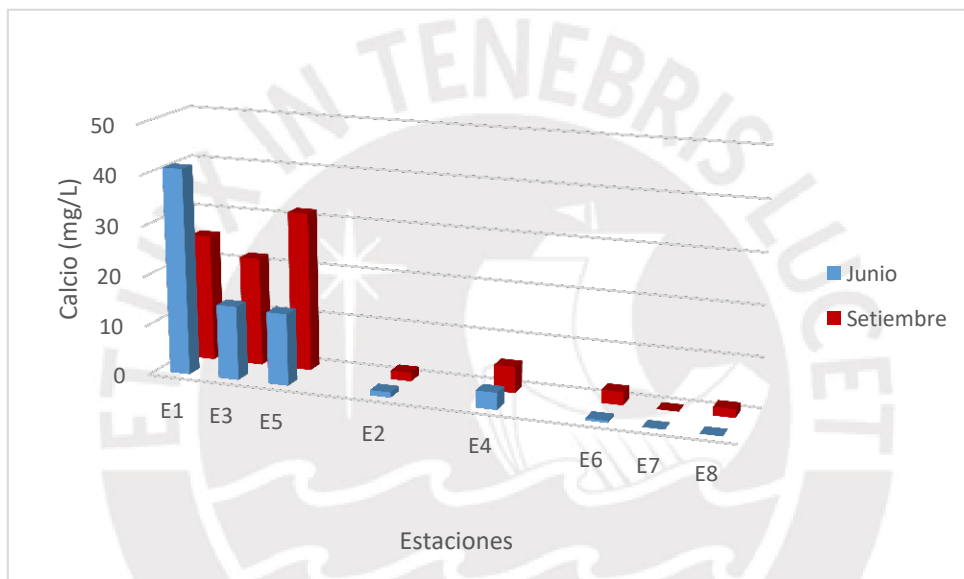


Figura 34. Calcio correspondiente a las dos campañas de monitoreo.

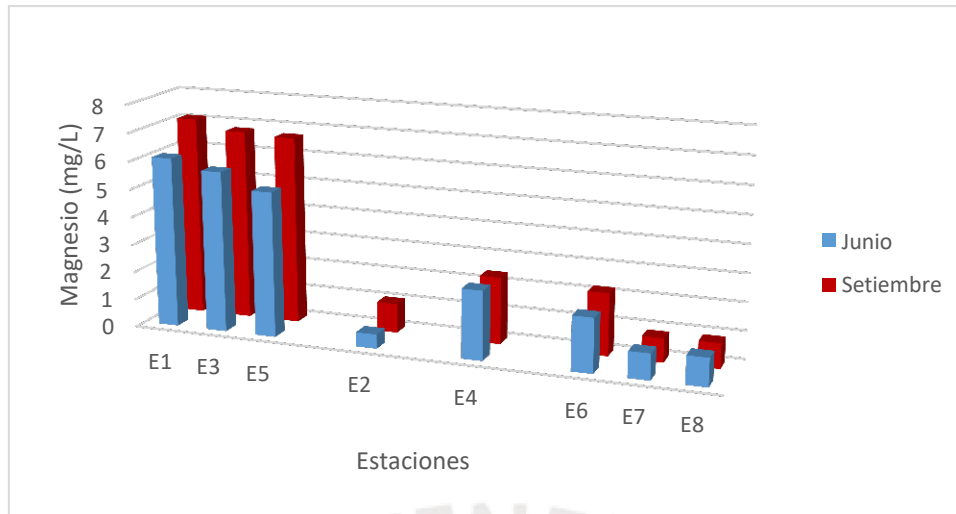


Figura 35. Magnesio correspondiente a las dos campañas de monitoreo.

En las figuras 41 y 42 se observan los resultados de los análisis para sodio y potasio respectivamente, en las ocho estaciones de monitoreo. El sodio registra sus valores más elevados entre 50-60 mg/L en las estaciones del río Caracha (E1, E3 y E5) para la segunda campaña, cuando el caudal del río ha disminuido. El mismo comportamiento se aprecia con el potasio.

En el caso del sodio, las concentraciones de sodio se pueden deber principalmente a la disolución y mineralización de la corteza terrestre (44). Comparadas con los ECA para agua 2008 que establecen un límite de 200 mg/L, se encuentran muy por debajo.

En el caso del potasio, este mostró un comportamiento más irregular, con valores elevados no solo en las estaciones del río Caracha (E1, E3, E5), sino también en la carga del efluente (E4). La concentración de potasio no cuenta con límite especificado en la normativa peruana, sin embargo, en Costa Rica se establecen 10 mg/L de potasio para agua potable (99). Los valores hallados en el reservorio se encuentran entre 3-4 mg/L (ver tabla 17), cumpliendo así este límite consultado.

Las concentraciones de sodio y potasio en las estaciones E6, E7 y E8 son similares en ambas campañas, por lo que no se puede atribuir alguna afectación antropogénica del entorno.

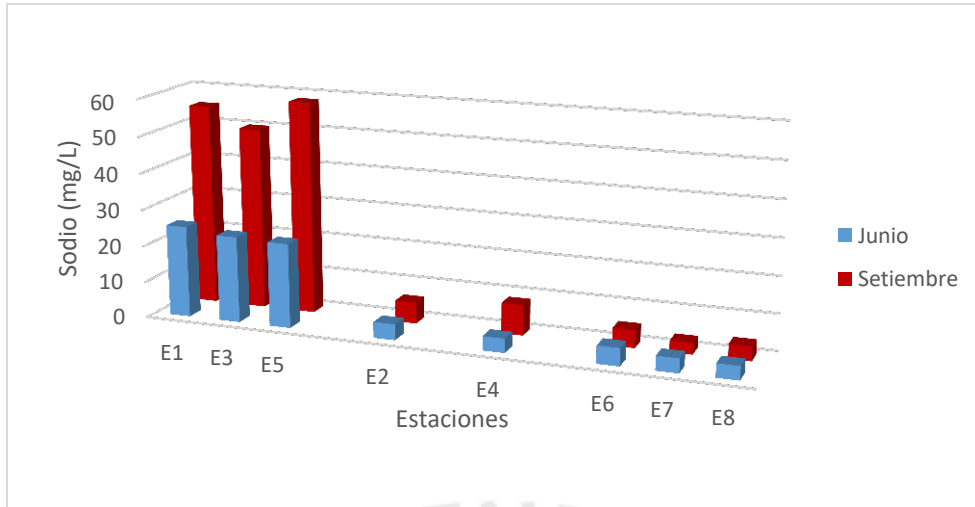


Figura 36. Sodio correspondiente a las dos campañas de monitoreo.

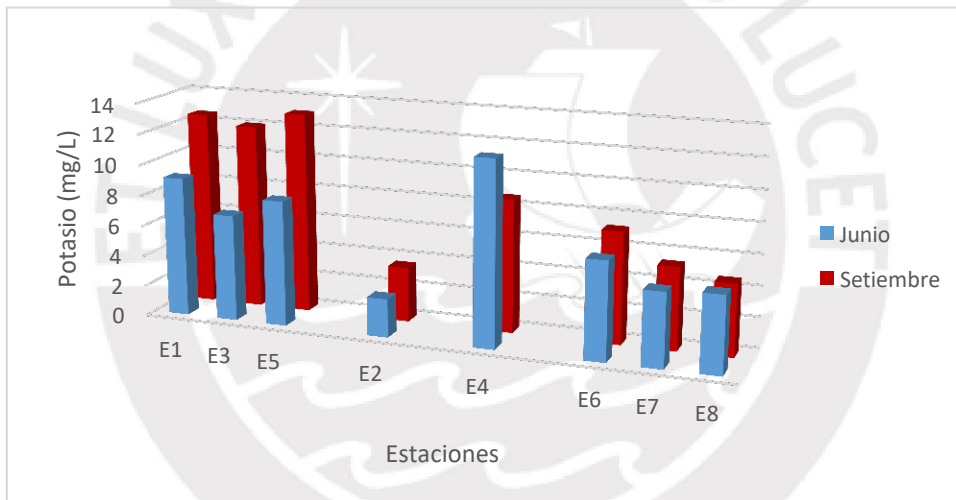


Figura 37. Potasio correspondiente a las dos campañas de monitoreo.

La medición de los metales pesados analizados a continuación se debió a su asociación con el deficiente tratamiento de efluentes domésticos, denuncias de contaminación por minería y alertas sanitarias en aguas para consumo de parte de instituciones como la Organización Mundial de la Salud. (100–103)

En el caso del cadmio, se obtuvieron valores muy bajos y de difícil cuantificación por el equipo (ver tabla 20), determinando valores menores a 0,076 mg/L que es el límite de detección. En el caso del cobre, durante la primera campaña registra valores menores al límite de detección (0,013 mg/L), mientras que en la segunda campaña se aprecia valores ligeramente mayores a este.

En la figura 43 se muestran los resultados del análisis de hierro en las ocho estaciones de muestreo. El límite establecido por los ECA – Categoría III 2017 es de 5 mg/L, por lo que los valores hallados, principalmente entre 0,1-0,2 mg/L, se encuentran muy por debajo. El valor más alto se registró en la estación E4, donde el agua residual alcanzó un nivel de hierro cercano a 0,5 mg/L, pero no llega a ser un valor destacado. El hierro aporta colores rojizos a las aguas residuales, sin embargo el color del efluente de la poza de oxidación es amarillento debido más bien a la materia orgánica proveniente de los suelos vegetales, como el caso de los ácidos húmicos (104). La concentración de hierro se eleva en estación E6 en el puquial (0,34 ppm), donde el aumento puede deberse a la presencia de rocas ferrosas. Sin embargo, los valores tampoco son muy elevados.

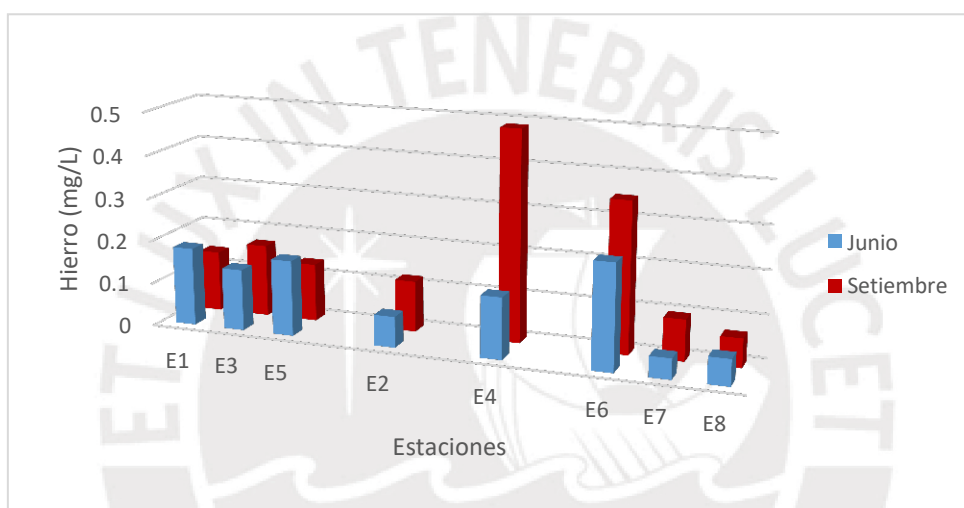


Figura 38. Hierro correspondiente a las dos campañas de monitoreo.

Las figuras 44 y 45 muestran los resultados de los análisis de zinc y plomo en las ocho estaciones de muestreo. Las concentraciones de zinc se encuentran muy por debajo de los límites establecidos por los ECA para agua 2017, los valores para agua de consumo, y los valores máximos permisibles de la US EPA, que son 2 mg/L, 3 mg/L y 5 mg/L respectivamente (ver tabla 21). Hay una caída de la concentración de zinc en la primera campaña (ver figura 43) en las estaciones del río Caracha después de la recepción del tributario y el efluente; lo mismo se aprecia con el plomo en la figura 45. Puede ser que la contribución en materia orgánica de estos contribuyentes influya en el intercambio iónico del zinc con los sedimentos. El zinc en medio acuoso puede estar presente como $ZnOH^+$ y Zn^{2+} , donde este último puede contribuir a la dureza del agua (105), sin embargo, debido a su baja concentración, el magnesio resulta como el principal aportante a la dureza.

En el caso del plomo, se registra una elevada concentración en la estación E1, inclusive mayor a lo establecido por el ECA (0,05 ppm), así mismo en la estación E4. El plomo suele estar asociado a otros metales como zinc, cobre y cadmio, y se puede apreciar coincidencia de concentraciones del plomo con zinc (ver figuras 44 y 45).

La estación E4, tanto el zinc como el plomo muestran un valor elevado, que en el caso del plomo supera lo establecido por los LMP (0,015), y para el zinc se mantiene muy por debajo (5 mg/L). La acumulación de plomo a largo plazo puede traer consecuencias tóxicas para otros poblados que usen las aguas de este para sus cultivos (106) . Este registro corresponde a la primera campaña, cuando la poza de oxidación se encontraba en mantenimiento. Si bien estos metales pesados están asociados a efluentes industriales, que no corresponden al lugar, podría indicar alguna deficiencia técnica en el sistema de alcantarillado que requeriría un mejor estudio.

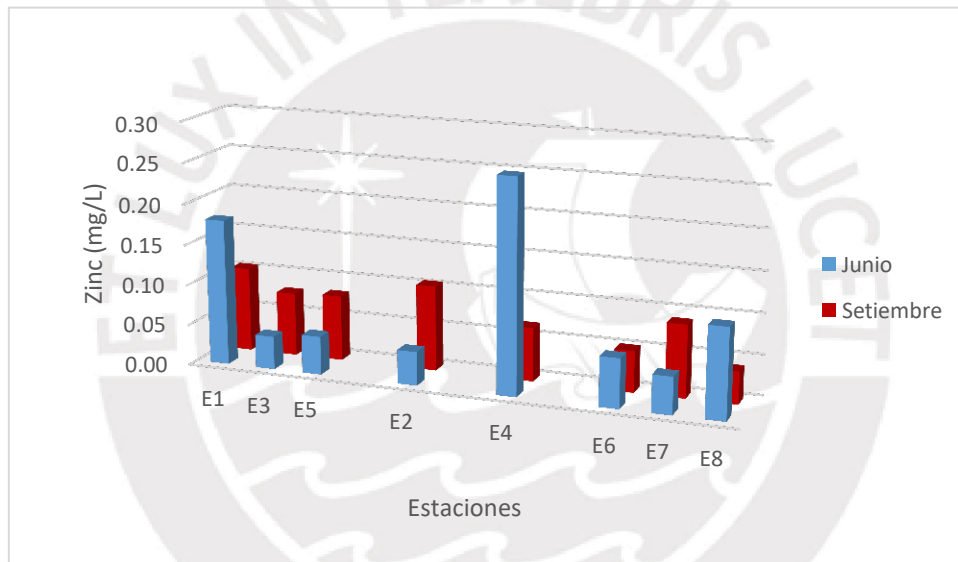


Figura 39. Zinc correspondiente a las dos campañas de monitoreo.

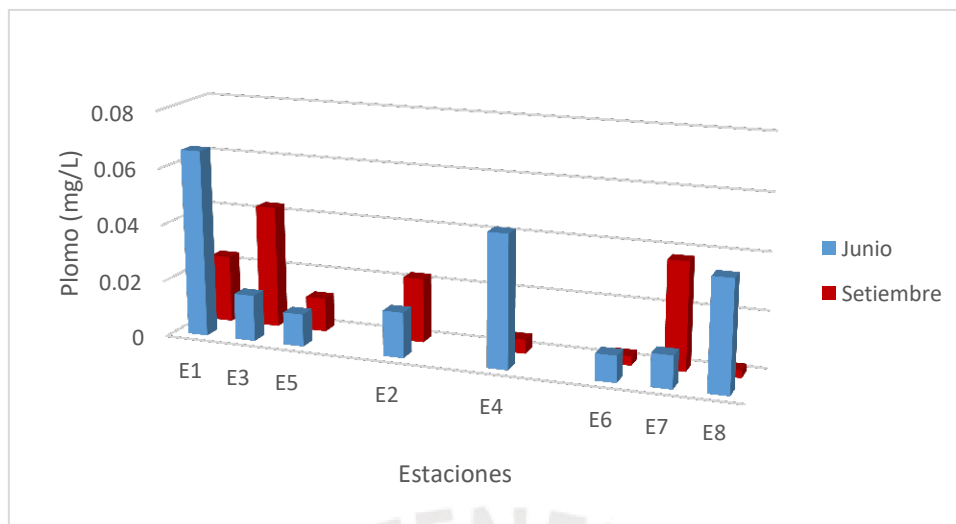
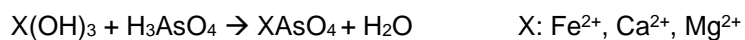


Figura 40. Plomo correspondiente a las dos campañas de monitoreo.

Para el análisis de mercurio y arsénico, se usó el equipo de absorción atómica con generación de hidruros para una mejor sensibilidad.

Los valores de mercurio resultaron por debajo del rango de detección establecido para la metodología (0,2-10 µg/L), por lo que no se muestran en una gráfica. El arsénico puede haber entrado a las aguas subterráneas a través de la meteorización de material volcánico procedente de la Cordillera de los Andes e incorporado en la secuencia sedimentaria por vía atmosférica (107). Cabe mencionar que a unos 30 min de Sacsamarca hay un área de aguas termales (Pachapupum) que aún es materia de estudio.

En la figura 46, se aprecian los resultados de arsénico en las 8 estaciones de muestreo. Los valores mayores se hallaron en las estaciones que corresponden al río Caracha E1, E3 y E5, tanto en la primera como en la segunda campaña. Estos valores alrededor de 100 µg/L (0,1 mg/L), coinciden con el límite establecido por los ECA para agua 2017 – Categoría III. El arsénico en forma de arsenato suele ser inmovilizado en técnicas de remediación, formando sales con calcio, magnesio y hierro, como se muestra en la siguiente reacción:



Las concentraciones de arsénico acuoso se mantienen en un rango amplio de pH (de 4,5 a 8,5) (108). El rango de pH en el río Caracha no es mayor de 8, y las concentraciones de Ca y Mg no son elevadas. Un estudio de los sedimentos del río permitiría precisar las cantidades precipitadas del arsénico.

Estos valores altos hallados concuerdan con un estudio hecho por la Dirección de Salud Ambiental de Ayacucho en el 2017 (109), donde el mapa de riesgo por contaminación de metales pesados en fuentes de agua de consumo identificó la presencia de arsénico en diversas partes de la región, con valores entre 0,01 hasta 0,12, excediendo el valor límite. Así mismo, ya desde el 2009 se había reportado la presencia de arsénico en los ríos Sondondo, Macro y Pampas (ceranos a la subcuenca del Caracha) debido a la contaminación generada por la minera polimetálica Catalina Huanca (plomo, zinc) (103). Y en el 2016, la Defensoría del Pueblo recomendó cerrar la fuente de captación de agua de Pachaya, ubicada en la ciudad de Puquio, al constatar altas concentraciones de arsénico (110).

Las otras estaciones muestran valores muy bajos en comparación de los ECA y LMP establecidos.

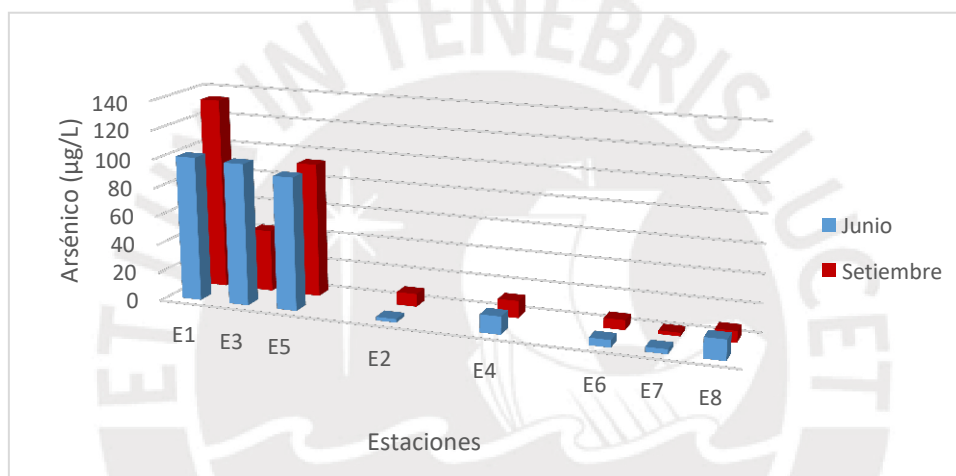


Figura 41. Arsénico correspondiente a las dos campañas de monitoreo.

5.2 Diagnóstico hidrosocial: Análisis socioecológico

El marco de referencia DPSIR se aplicó sobre el área de influencia del centro poblado Sacsamarca definido por las estaciones de monitoreo en la figura 17, siendo cuerpos de agua pertenecientes a la subcuenca del río Caracha y al ciclo hidrosocial de Sacsamarca. Este ejercicio puede ser de gran ayuda para otras localidades, y ser integrado en un estudio de cuenca y subcuencas, en el marco de referencia que se trabaja la GIRH a través de las autoridades respectivas.

5.2.1 Agentes conductores

Los agentes identificados se pueden clasificar en naturales y antropogénicos (111). Entre las naturales, la más importante es la precipitación que regula el agua del sistema, con niveles que varían entre los 0 y 160 mm (22), aproximadamente, a lo largo del año dependiendo de la

temporada (ver figura 3). Otros agentes naturales pueden ser especies vegetales invasoras que afecten el ambiente, sin embargo, salvo el eucalipto (*Eucalyptus*), que es común encontrar en la sierra peruana, no se encontró información adicional destacable.

Con respecto a los agentes antropogénicos, el distrito de Sacsamarca tiene 1797 habitantes según el censo 2007, mientras que el centro poblado cuenta con alrededor de 588 habitantes a julio del 2016 según registro del centro de salud, los cuales se encuentran distribuidos en 267 viviendas (112). El centro poblado cuenta con un reservorio de 40 m³, que extrae agua continuamente, con la ayuda de una bomba a presión, de la laguna de Uerpoccocha, ubicada en el anexo de Asca. Este abastece a todos los hogares y todas las actividades dentro del centro poblado (institucionales, como escuelas y gobierno, y comerciales, como tiendas y restaurantes) a través del sistema de red pública, sin embargo, durante el 2016 se realizaron obras de alcantarillado para completar el saneamiento de las partes altas del centro poblado.

Por otro lado, las principales actividades económicas como la ganadería y la agricultura, utilizan el agua de otras fuentes naturales, como ríos pequeños de las partes altas, dentro de la subcuenca del río Caracha. Hay proyecciones, de parte de la dirigencia comunal, de crecer en actividades turísticas, que en un futuro podría implicar mayores construcciones y mayor número de habitantes temporales.

5.2.2 Presiones

Los agentes conductores ejercen presiones en el ambiente como resultado de procesos de producción y consumo. Para el caso del agua se pueden considerar las presiones ejercidas sobre el suministro, la demanda y la calidad del recurso hídrico para el centro poblado (111).

El principal suministro de agua al centro poblado de Sacsamarca es la laguna de Uerpoccocha. Esta fuente de agua superficial depende de la tasa de precipitación media de la cuenca para seguir abasteciendo con normalidad a la población local. Es la precipitación también la que regula el flujo de agua de los riachuelos usados por la población para sus actividades ganaderas y agrícolas.

Las presiones en la demanda de agua están dadas principalmente por los hogares y las actividades internas. No se ha encontrado información municipal ni con la dirigencia comunal sobre la cantidad de área para cultivo que poseen los habitantes. El presidente de la comunidad informó que son tierras comunales que heredan las familias del pueblo. Tampoco se cuenta con un registro de la cantidad de ganado. Estas ausencias impiden estimar la demanda de agua por parte de las actividades económicas principales (ganadería y agricultura).

La calidad de las fuentes de agua superficial se ve afectada por las actividades antrópicas que generan contaminación sin recibir el tratamiento respectivo. Ya que la ganadería es la principal actividad, los desechos de estos parecen ser los responsables de la eutrofización de diversas fuentes de agua superficial (laguna, puquial). Durante los viajes de trabajo realizados, el sistema de tratamiento de aguas residuales en el centro poblado se encontraba en remodelación por parte de la concesionaria responsable, según la municipalidad.

5.2.3 Estado

Como resultado de las presiones, el ambiente es afectado, en este caso, la calidad de las fuentes de agua superficial. PUNTO SEGUIDO

Los resultados de pH y conductividad se encuentran dentro de los límites de calidad establecidos (< a 8,5 y < a 1500, respectivamente). En el caso de los nutrientes, según los límites establecidos en el ECA para agua 2008 que corresponden a valores de 1 mg/L para fosfato (PO_4^{3-}) y 10 mg/L para nitratos (NO_3^-), estos se encuentran en concentraciones elevadas de fosfato, y en concentraciones dentro del rango para el caso de los nitratos.

Los sulfatos se encuentran dentro de los límites establecidos (<250 mg/L), aunque presenta valores altos en las estaciones ubicadas en el río Caracha. La DQO hallada en las estaciones de monitoreo es muy baja respecto al límite de los ECA para agua. Por otro lado, no hay límite establecido para sólidos totales, en la bibliografía consultada, según el tipo de cuerpo de agua. Cabe resaltar que los valores determinados se encuentran alrededor de 400 ppm de ST.

Con respecto a las concentraciones de metales, la mayoría (Na, Ca, Mg, K, Cu, Pb, Cd, Zn, Hg) se encuentran debajo de los límites establecidos por el ECA para agua – categoría 3, los valores límite para agua de consumo y los valores establecidos por EPA de contenido máximo permisible. Sin embargo, los valores de hierro se encuentran cercanos al límite establecido por EPA (0,3 mg/L), y en el caso del As, los valores de las estaciones en el río Caracha se encuentran cerca y por encima de los establecido por el ECA para agua – Categoría III 2017. Estos últimos datos corroboran la información que se presenta en el mapa de riesgo de metales pesados en la región Ayacucho, realizado por la Dirección Regional de Salud de Ayacucho, donde se destaca niveles elevados de Fe y, sobretodo, As en varios lugares (109). No obstante, el mapa en mención cuenta solo con una estación de muestreo en la provincia de Huanca Sancos aguas abajo de las establecidas en este estudio, por lo que el monitoreo requiere ser ampliado.

5.2.4 Impactos

El centro poblado de Sacsamarca cuenta con una población pequeña, debido en parte a la historia de conflicto que aconteció en las décadas de 1980 y 1990. Se encuentra aún en una etapa de

recuperación y no cuenta con proyecciones elevadas de crecimiento poblacional ni expansión territorial que pudieran afectar el suministro de agua. Esto hace que la cantidad de agua que utilizan (40 m³ del reservorio) para sus actividades en el hogar sea suficiente, así como para el pequeño comercio, y actividades institucionales y culturales que hay en el centro poblado.

Las actividades económicas que realizan cuentan con agua suficiente, proveniente de los diferentes pequeños ríos que hay en el área (ver figura 4), la cual no ha podido ser contabilizada ni estudiada por los límites establecidos de la presente investigación. Sin embargo, la alta presencia del ganado cercano a las fuentes de agua (laguna, puquial, río Colmapaccha), puede estar generando desbalances que se expresan con presencia de nutrientes, principalmente fosfatos. Así como el uso continuo de alguna de estas mismas fuentes para actividades de aseo (lavado de ropa), principalmente el caso del puquial que ya muestra signos de polución (ver figura 47).

La laguna de Uerpococha, la cual abastece el reservorio y, por ende, del cual depende principalmente la población, sufre de un proceso de eutrofización que se ha visto en aumento en las visitas realizadas durante 2016 y 2017, aunque los valores de nutrientes hallados no sean tan elevados. Abundante vegetación cubre casi por completo la laguna (ver figura 48) y, en el mediano plazo, puede afectar la disponibilidad del recurso por parte de la población.

Los impactos que se señalan están condicionados por los estándares de calidad del agua establecidos, ya que el río Caracha, como cuerpo receptor, es evaluado de acuerdo con los ECA para agua categoría III, que establecen una serie de parámetros que no se consideran en los LMP de descargas domésticas. Así mismo, el reglamento para agua de consumo, se centra principalmente en las cantidades de cloro, asumiendo que toda población posee un sistema de tratamiento para la captación de agua.



Figura 42. Contaminación en el puquial. Por Paulo Corrêa, 08-06-2017.



Figura 43. Eutrofización de la laguna de Uerpoccocha. Por Miguel Mendoza F 10-07-17.

5.2.5 Respuestas

Las respuestas enfatizan las acciones para reducir las presiones y el impacto negativo sobre el ecosistema. Si bien en cuestiones de cantidad, la población se encuentra abastecida completamente, la calidad de la fuente de captación presenta problemas de eutrofización (ver figuras 36, 37 y 47), por lo que la disponibilidad del recurso puede verse afectada en su captación si no se mejora el cuidado de la fuente. Se requiere de acciones de limpieza en la laguna de Uerpoccocha, y la vigilancia de la calidad de sus aguas, así como la implementación de un plan de gestión del agua para el centro poblado. Así mismo, se requiere mejorar la infraestructura en la fuente de captación de agua.

De la misma manera que en la laguna, el puquial requiere que la población tome conciencia sobre la limpieza de sus fuentes naturales de agua. Si los hogares en su totalidad cuentan con el agua suficiente, según la municipalidad, para sus actividades, entonces no sería necesario que se mantenga la costumbre de lavar prendas en este lugar, lo que implica el uso de detergentes que luego no siguen un proceso de tratamiento. No se evaluó el agua empozada del puquial, lo que pudo haber arrojado mayores índices de contaminación. Se requieren inspecciones sobre las áreas ganaderas y lavado de prendas en las fuentes de agua para su cuidado.

En el caso del río Caracha, los resultados de los análisis de arsénico mostrados en la figura 46, requieren que las autoridades tomen acciones en coordinación con la Municipalidad Provincial de Huanca Sancos y la Gerencia Regional de Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente para incluir la subcuenca del río Caracha dentro de sus monitoreos ambientales.

En la figura 49 se ilustra el marco DPSIR sobre el ciclo hidrosocial definido para el pueblo de Sacsamarca, construido en base al análisis anterior. La información integrada permite identificar las acciones que se deben desarrollar por parte de la población y recayendo las responsabilidades sobre los principales tomadores de decisión locales (autoridades comunales y municipales) para la planificación de los usos (consumo, turístico), el monitoreo de los parámetros que generen riesgos (fosfatos, algunos metales como el arsénico), la mitigación de los contaminantes de origen antropogénico (la gestión del ganado, uso de detergentes), y el uso del río para la obtención de pescado.

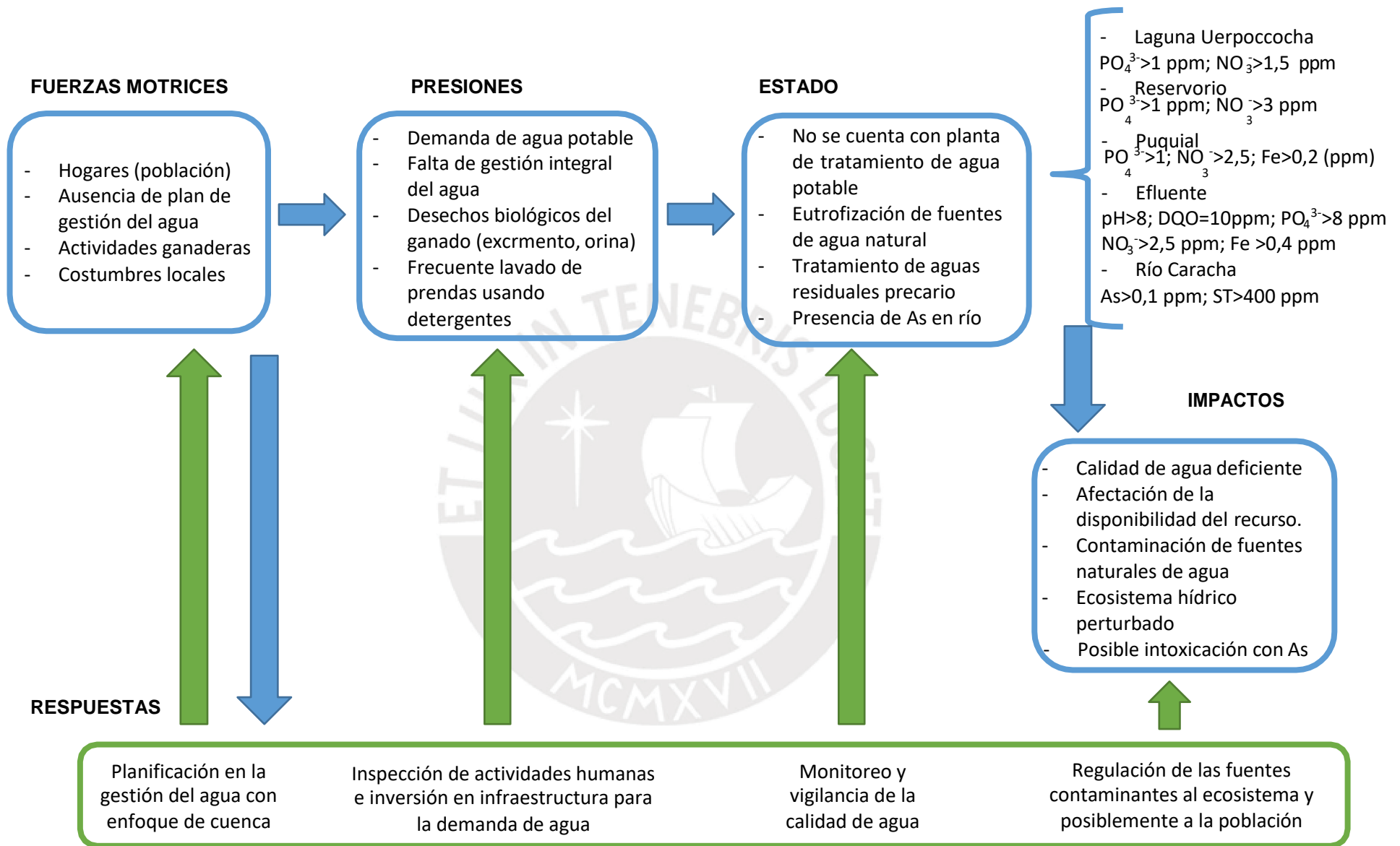


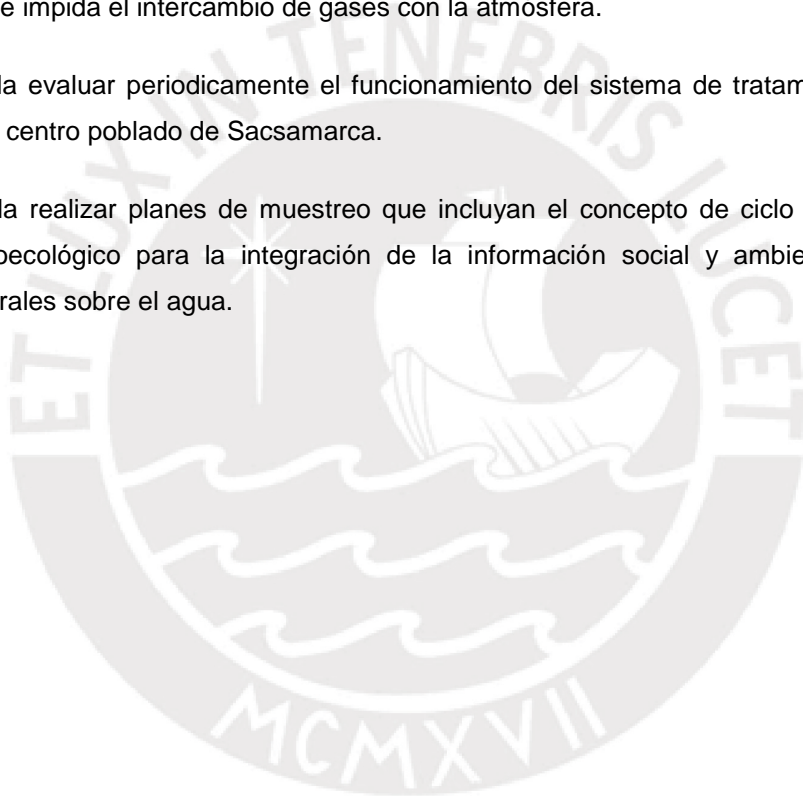
Figura 44. Marco DPSIR del agua en Sacsamarca

6. CONCLUSIONES

- Se diseñó el plan de monitoreo de aguas superficiales teniendo presente la integración del ciclo hidrológico con la población (ciclo hidrosocial), estableciéndose ocho puntos de muestreo para la caracterización del agua de la laguna Uerpococcha, río Caracha, río Colmapaccha, el efluente de la poza de oxidación, el puquial y reservorio del centro poblado de Sacsamarca. La ausencia del muestreo en época de lluvias, impidió brindar un análisis más completo, por lo que un estudio complementario debería realizarse en el futuro.
- Los resultados obtenidos evidenciaron que la mayoría de parámetros se encuentran por debajo de los límites establecidos en la normativa peruana según el sector al que pertenecen (estándares de calidad ambiental para agua – categoría III, reglamento para el agua de consumo, límites máximos permisibles para efluente doméstico). Las concentraciones de fosfatos ($>1,0$ mg/L) y arsénico ($>0,1$ mg/L) fueron los únicos parámetros que registraron valores por encima del ECA para agua (2008 y 2017 respectivamente).
- El diagnóstico de las aguas superficiales en Sacsamarca resulta positivo, sin embargo, la presencia de fosfatos mayores a 1 mg/L en casi todas las estaciones de monitoreo durante la segunda campaña (E1= 1,059; E2=3,0644; E3=0,6178; E4=8,8356; E5=1,3599; E6=1,5158; E7=1,7744; E8=1,1171 en mg/L) debe significar una alerta para las autoridades porque este parámetro es un indicador de eutrofización y contaminación de aguas.
- Las cantidades elevadas de arsénico (primera campaña: E1=0,1008; E3=0,9915; E5=0,9985, segunda campaña: E1=0,1338; E3=0,4341; E5= 0,9389 en mg/L) en el río Caracha requieren un monitoreo más exhaustivo de la concentración de este elemento en la subcuenca.
- El marco de análisis DPSIR permitió integrar los resultados fisicoquímicos de los ambientes acuáticos con las variables del sistema hidrosocial del centro poblado de Sacsamarca para mejorar el factor calidad de agua. El resultado integra la información aplicando el enfoque DPSIR, proponiendo el diseño de un plan de gestión del agua, la fiscalización de la utilización de las fuentes de agua (ganadería y uso de detergentes), el monitoreo de los parámetros elevados (nutrientes, arsénico) y la mitigación de fuentes contaminantes de origen antropogénico.
- El agua de la laguna de Uerpococcha y el reservorio pueden seguir usándose con normalidad. En el puquial se debe prescindir del lavado de prendas de vestir, al igual que en el río Colmapaccha.

7. RECOMENDACIONES

- Se recomienda hacer un estudio más amplio sobre la calidad del agua superficial de la subcuenca del río Caracha, priorizando el análisis de nutrientes asociados a la eutrofización y de algunos metales como el arsénico, ya alertado en la región de Ayacucho por otros informes.
- Se recomienda ampliar el muestreo sobre la laguna de Uerpococha, y las otras fuentes que la abastecen por infiltración, priorizando el análisis de nutrientes, DQO y DBO.
- Se recomienda realizar campañas de limpieza en la laguna de Uerpococha, a fin de remover la vegetación que impida el intercambio de gases con la atmósfera.
- Se recomienda evaluar periódicamente el funcionamiento del sistema de tratamiento de aguas residuales del centro poblado de Sacsamarca.
- Se recomienda realizar planes de muestreo que incluyan el concepto de ciclo hidrosocial y el enfoque socioecológico para la integración de la información social y ambiental, propio de estudios integrales sobre el agua.



8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Autoridad Nacional del Agua. Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad en Cuerpos Naturales de Aguas Superficiales. Lima, Perú: Autoridad Nacional del Agua; 2011 p. 8-18.
2. Congreso de la República. Ley N° 28611 Ley General del Ambiente. 2005.
3. Ministerio del Ambiente. Decreto Supremo N°004-2017-MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias. 2017.
4. Ministerio de Salud. Decreto Supremo N°031-2010-SA. Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. 2011.
5. Instituto Nacional de Estadística e Informática. Formas de acceso al agua y saneamiento básico. Síntesis estadística. Instituto Nacional de Estadística e Informática; 2016 p.5-20.
6. Gamboa N, Colaboradores. Informe integral Actividad de Trabajo Académico de los Cursos: QUI20 y QUI361, semestre 2015-2. Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú; 2016 p. 16-27.
7. Gómez Cisneros A. Informe de supervisión N°05-2014-OEFA/OD AYACUCHO. Informe de supervisión a las funciones de fiscalización ambiental de la Municipalidad Distrital de Sacsamarca. Ayacucho, Perú: Oficina de Evaluación y Fiscalización Ambiental; 2014 p. 6-8.
8. Dirección Académica de Responsabilidad Social (DARS-PUCP). Diagnóstico Socioeconómico y psicosocial de la comunidad y distrito Sacsamarca. Pontificia Universidad Católica del Perú; 2014 p. 9-26.
9. Gamboa N. Informe Final. Estrategia: Vinculación con cursos QUI361 y QUI210, semestre 2015-2. Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú; 2016 p. 9-16.
10. Instituto Nacional de Estadística e Informática. Censos nacionales. XI de poblaciones y VI de vivienda. [Internet]. 2007 [citado 20 de agosto de 2017]. Disponible en: <http://censos.inei.gob.pe/cpv2007/tabulados/#>
11. Quichua D. Los Pueblos de la Cuenca de Quaracha (XV-XVII). Provincia de Huanca Sancos [Internet]. 2013 [citado 24 de agosto de 2017]. Disponible en: <http://www.enfermeriaperu.com/hcos/etniascarahuan.htm>
12. Dirección Académica de Responsabilidad Social (DARS-PUCP). Sistematización del Proyecto Sacsamarca (2013-2014). Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú; 2014 p. 2-4.
13. Salcedo Huamán V. Informe N°2 Monitoreo Ambiental. Gobierno Regional de Ayacucho; 2016 p. 43-8.
14. Izarra Rojas G. Informe Calidad de Agua Monitoreo Ambiental. Gobierno Regional de Ayacucho; 2017 p. 4-7.

15. Organización de Naciones Unidas. 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible [Internet]. 2015 [citado 30 de agosto de 2017]. Disponible en: <http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
16. Dumler F, Acha M del P. Construyendo la institucionalidad de la gestión integrada de los recursos hídricos a través de la gobernanza en la Autoridad nacional del Agua. En: El derecho frente a la crisis del agua en el Perú: primeras Jornadas de Derecho de Aguas. Primera edición. Lima: PUCP, Departamento Académico de Derecho; 2014. p. 81-92.
17. Comisión de la Verdad y Reconciliación. Informe Final [Internet]. 2003 [citado 10 de septiembre de 2017]. Disponible en: <http://cverdad.org.pe/ifinal/>
18. Congreso de la República. Ley N°13719. Ley que crea el Distrito de Sacsamarca, en la provincia de Víctor Fajardo del Departamento de Ayacucho. 1961.
19. Clima Sacsamarca: Temperatura, Climograma y Tabla climática para Sacsamarca - Climate-Data.org [Internet]. [citado 16 de mayo de 2018]. Disponible en: <https://es.climate-data.org/location/1030995/>
20. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. Mapa Climático del Perú [Internet]. Disponible en: http://www.senamhi.gob.pe/include_mapas/_map_data_tesis.php?drEsta=05
21. Dirección de Conservación y Planeamiento de los Recursos Hídricos. Evaluación de Recursos Hídricos Superficiales en la Cuenca del río Pampas. Lima, Perú: Autoridad Nacional del Agua; 2010 p. 51-75.
22. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. Caracterización de la oferta hídrica superficial de las cuencas Pampas, Apurímac y Urubamba. 2010 p. 32-5.
23. Klee E.I.R.L. Proyecto de ampliación del servicio de energía eléctrica mediante la intervención convencional en ocho localidades de los distritos de Sancos, Carapo, Sacsamarca y Santiago de Lucanamarca, provincia de Huanca Sancos – Ayacucho. Ayacucho, Perú: Gobierno Regional de Ayacucho; 2016 p. 19-23.
24. Eskenazi J, Mercado L, Muñoz I. Agencia, conflicto y desarrollo humano en Ayacucho: el caso de Sacsamarca post Sendero Luminoso. Debates En Sociol. 2015;(40):93–126.
25. Autoridad Nacional del Agua. RJ-202-2010-ANA. Clasificación de Cuerpos de Agua Superficiales: Ríos, Lagos, Lagunas. 2010.
26. Villasante Cervello M. La Comisión de la Verdad y la Reconciliación del Perú en el contexto latino-americano y la situación humanitaria en Mauritania. Ponencia presentado en: Mesa redonda sobre Justicia de Transición - ONU; 2016 oct 10; Ginebra, Suiza.
27. Ramírez Ramírez R, Robles Chávez M. Mapa de pobreza provincial y distrital 2009 [Internet]. Instituto Nacional de Estadística e Informática; 2010 [citado 15 de septiembre de 2017]. Disponible en: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib0952/Libro.pdf

28. Hidalgo Calle N, Herrera Zúñiga J, Genoni ME. Mapa de pobreza provincial y distrital 2013 [Internet]. Instituto Nacional de Estadística e Informática; 2013 [citado 15 de septiembre de 2017]. Disponible en: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1261/Libro.pdf
29. Ministerio de Medio Ambiente. La calidad de las aguas. La situación actual y los problemas existentes. En: Libro Blanco del Agua en España. Madrid, España: Centro de Publicaciones; 2000. p. 196-412.
30. Bartram J, Ballance R, editores. Water quality. En: Water quality monitoring: a practical guide to the design and implementation of freshwater quality studies and monitoring programmes. 1st ed. London ; New York: E & FN Spon; 1996. p. 15-47.
31. Buelta Serrano A, Martínez R. Guía Básica de Control de Calidad de Agua. ONG AWA; 2015 p. 3-5.
32. Hernández-Romero H, Tovilla-Hernández C, Malo EA, Bello-Mendoza R. Water quality and presence of pesticides in a tropical coastal wetland in southern Mexico. Mar Pollut Bull. junio de 2004;48(11-12):1130-41.
33. US EPA. Introducción a la ley de agua limpia [Internet]. US Environmental Protection Agency; [citado 17 de septiembre de 2017] p. 2-4. Disponible en: <https://www.epa.gov/laws-regulations/summary-clean-water-act>
34. Ministerio del Ambiente. Decreto Supremo N°015-2015-MINAM. Modifican los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua y establecen disposiciones complementarias para su implementación. 2015.
35. Ministerio del Ambiente. Decreto Supremo N°002-2008-MINAM. Aprueban los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua. 2008.
36. Sema Tiwari. Water Quality Parameters - A review. 2015.
37. Aznar Jiménez A. Determinación de los parámetros fisicoquímicos de la calidad de agua. Gestión Ambiental. 2000;2(23):12-9.
38. Barrenechea Martel A. Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua. En: Tratamiento de agua para consumo humano. Lima, Perú: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente; 2004. p. 1-56.
39. Vigil KM. Clean water: an introduction to water quality and pollution control. 2nd ed. Corvallis: Oregon State University Press; 2003. 23-40 p.
40. Marín Galvín R. Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos. Ediciones Díaz de Santos. Madrid, España; 2003. 1-70 p.
41. Colin Baird, Michael Cann. Environmental Chemistry. New York, USA: W.H.Freeman and Company; 1995. 407-450 p.

42. Sierra Ramírez CA. Calidad del Agua - Evaluación y Diagnostico [Internet]. Leonardo David López Escobar. Medellín, Colombia: Ediciones de la U; 2011. 55-77 p. Disponible en: <https://es.slideshare.net/vladyvostok/calidad-del-agua-evaluacin-y-diagnostico>
43. Yang X, Wu X, Hao H, He Z. Mechanisms and assessment of water eutrophication. *J Zhejiang Univ Sci B*. 2008;9(3):197-209.
44. Teves Aguirre BM. Estudio fisicoquímico de la calidad del agua del río Caca, región Lima. [Perú]: Pontificia Universidad Católica del Perú; 2016.
45. Nieves M, Orozco C, Pérez A, Alfayate J, Rodríguez F. Contaminación ambiental: una visión desde la química. Ediciones Paraninfo SA; 2011. 31-86 p.
46. Kadiri M, Ahmadian R, Bockelmann-Evans B, Rauen W, Falconer R. A review of the potential water quality impacts of tidal renewable energy systems. *Renew Sustain Energy Rev*. 2012;16(1):329-41.
47. Congreso de la República. Ley 29338, ley de recursos hídricos. 2009.
48. Autoridad Nacional del Agua. Memoria del Plan Nacional de los Recursos Hídricos. Autoridad Nacional del Agua; 2013 p. 70-90.
49. Autoridad Nacional del Agua. Demarcación y delimitación de las Autoridades Administrativas del Agua. Autoridad Nacional del Agua; 2009 p. 8-10.
50. Autoridad Nacional del Agua. Planificación Hídrica en el Perú. 2016 p. 13-16.
51. Dourojeanni A, Jouravlev A. Gestión de cuencas y ríos vinculados con centros urbanos. *Com Económica Para América Lat El Caribe – CEPAL*. 1999;3-23.in
52. Indij D, Schreider M. Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) y su Aprovechamiento para la Agricultura frente al Cambio Climático en la Región Andina – Manual N°1. 2011 p. 19-23.
53. Mejía A, Castillo O, Vera R. Agua potable y saneamiento en la nueva ruralidad de América Latina. CAF; 2016. 11-135 p.
54. Vera C, Camilloni I, Kornbliht A. El ciclo del agua. Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología; 2007 p. 1-5.
55. Pagano T, Sorooshian S. Hydrologic Cycle. *The Earth system: physical and chemical dimensions of global environmental change*. 2002;1:450–464.
56. G. Tyler Miller. *Ciencia ambiental: Preservemos la Tierra*. Quinta. México: International Thomson Editores; 2002. 333-354 p.
57. Shicklomanov IA. World fresh water resources. En: *Water in crisis*. Oxford University Press; 1993. p. 13-24.
58. Smith R, Smith T. *Ecología*. Sexta. España: Pearson Education; 2007. 68-83 p.

59. Sánchez San Roman J. El Ciclo Hidrológico. Universidad de Salamanca; 2015.
60. Tarride M. Complexity and complex systems. *Historia, Ciencias, saúde – Manguinbos*. 1995;2:46-66.
61. Moriello S. Sistemas complejos, caos y vida artificial. *Red Científica*. 2003; 1579–0233.
62. González-Castillo O. Sustentabilidad y la Universidad del siglo XXI: Aproximaciones al conocimiento y al trabajo colaborativo. En: *Complejidad y sistemas complejos: Un acercamiento multidimensional*. México: CopIt-arXives y EditoraC3; 2016. p. 17-18.
63. Raskin P. World lines: Pathways, pivots and the global future. *Great Transition Initiative Papers series*. Tellus Institute Org. 2006 (16).
64. González J, Montes C, Rodríguez J, Tapia W. Rethinking the Galapagos Islands as a complex social-ecological system: implications for conservation and management. *Ecol Soc*. 2008;13(2).
65. Redman CL, Grove JM, Kuby LH. Integrating Social Science into the Long-Term Ecological Research (LTER) Network: Social Dimensions of Ecological Change and Ecological Dimensions of Social Change. *Ecosystems*. 2004;7(2):161-71.
66. Madrid C, Cabello V, Giampietro M. Water-Use Sustainability in Socioecological Systems: A Multiscale Integrated Approach. *BioScience*. enero de 2013;63(1):14-24.
67. Madrid-López C, Giampietro M. The Water Metabolism of Socio-Ecological Systems: Reflections and a Conceptual Framework. *J Ind Ecol*. octubre de 2015;19(5):853-65.
68. Madrid C, Cabello V, Kovacic Z. Analizando el metabolismo hídrico de los socio-ecosistemas: fundamentos teóricos y metodológicos. En: *8 ° Congresso Ibérico de Gestão e Planeamento da Água*. 2013. p. 657–668.
69. Budds J, Linton J, McDonnell R. The hydrosocial cycle. *Geoforum*. noviembre de 2014;57:167-9.
70. Carey M, Baraer M, Mark BG, French A, Bury J, Young KR, et al. Toward hydro-social modeling: Merging human variables and the social sciences with climate-glacier runoff models (Santa River, Peru). *J Hydrol*. octubre de 2014;518:60-70.
71. Linton J, Budds J. The hydrosocial cycle: Defining and mobilizing a relational-dialectical approach to water. *Geoforum*. noviembre de 2014;57:170-80.
72. Linton J. The Hydrologic Cycle and the Hydrosocial Cycle. *Bridging Hydrosystems and Hydropolitics*. Sémin Hydrosystèmes Hydropolitiques. 2011;
73. Damonte Valencia GH. Redefiniendo territorios hidrosociales: Control hídrico en el valle de Ica, Perú (1993-2013). *Cuad Desarro Rural*. 15 de octubre de 2015;12(76):109.
74. Lu S, Zhang X, Bao H, Skitmore M. Review of social water cycle research in a changing environment. *Renew Sustain Energy Rev*. septiembre de 2016;63:132-140.

75. Arahuetes A, Villar R, Hernández M. El ciclo hidrosocial en la ciudad de Torreveja: retos y nuevas tendencias. *Rev Geogr Norte Gd.* 2016;(65):109–128.
76. Larsimont R. Ecología política del agua: reflexiones teórico-metodológicas para el estudio del regadío en la provincia de Mendoza. *Inst Cienc Humanas Soc Ambient INCIHUSA.* 2014;4-7.
77. El Comercio R. COEN: 9 carreteras se encuentran restringidas y una cerrada [Internet]. *El Comercio.* 2017 [citado 5 de noviembre de 2017]. Disponible en: <http://elcomercio.pe/peru/coen-9-carreteras-encuentran-restringidas-cerrada-415194>
78. Marín R. *Análisis de Aguas y Ensayos de Tratamiento: Principios y Aplicaciones.* Primera. Barcelona, España: Gestió i Promocó; 1995. 442-446 p.
79. APHA-AWWA-WEF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater* 20th Edition. 1999.
80. US EPA. Method 375.4: Sulfate (turbidimetric) [Internet]. 1983. Disponible en: <https://www.epa.gov/hw-sw846/sw-846-test-method-9038-sulfate-turbidimetric>
81. Severiche CA, González H. Evaluación analítica para la determinación de sulfatos en aguas por método turbidimétrico modificado. *Ing USBMed.* 2012;3(2):6–11.
82. Cáceres Choque L. Determinación de metales por absorción atómica en aguas naturales, potables y residuales. *Procedimiento Operativo Estándar.* 2013 p. 5-10.
83. US EPA. Method 245.1 Determination of Mercury in Water by Cold Vapor Atomic Absorption Spectrometry [Internet]. 1994. Disponible en: <https://www.epa.gov/homeland-security-research/epa-method-2451-determination-mercury-water-cold-vapor-atomic-absorption>
84. *Metodologías analíticas para la determinación y especiación de arsénico en aguas y suelos.* IBEROARSEN-CYTED; 2009 p. 65-78.
85. Kristensen P. The DPSIR framework. *Natl Environ Res Inst Den.* 2004;10.
86. Pettersen E. Soil phosphorus pools and their relation to land-use and soil physiochemical properties-A case study of an agricultural watershed in north-eastern China. 2014.
87. Smeets E, Weterings R. *Environmental indicators: Typology and overview.* European Environment Agency Copenhagen; 1999 p. 4-13.
88. Malekmohammadi B, Jahanishakib F. Vulnerability assessment of wetland landscape ecosystem services using driver-pressure-state-impact-response (DPSIR) model. *Ecol Indic.* noviembre de 2017;82:293-303.
89. Cuéllar HR. Conceptualización de la salud ambiental: Teoría y práctica. *Rev Peru Med Exp Salud Publica* 2008; 25(4): 403-409.

90. Facultad Regional de Rosario - Universidad Tecnológica Nacional. Cátedra Online Ingeniería Sanitaria [Internet]. Cátedras Online FRRO UTN. 2005 [citado 16 de enero de 2018]. Disponible en: <https://www.frro.utn.edu.ar/catedras/catedra.php?m=42&cont=392>
91. Rolim S. Sistemas de lagunas de estabilización. Primera Edición. Mc. Graw Hill; 2000.
92. Fustamante N. Manual para la cloración del agua en sistemas de abastecimiento de agua potable en el ámbito rural. Cooperación Alemana al Desarrollo; 2017.
93. Manahan SE. Introducción a la Química Ambiental. Facultad de Química-UNAM. México: Reverté; 2007. 234-238 p.
94. Spalding RF, Exner ME. Occurrence of nitrate in groundwater. A review. J EnvironQual. 1993;(22):392-402.
95. Rodríguez S, Gauna L, Martínez G, Acevedo H, Romero C. Relación del nitrato sobre la contaminación bacteriana del agua. Terra Latinoam. 2012;30(2).
96. Larios Ortiz L. Contaminación del agua por nitratos: significación sanitaria. Rev Arch Méd Camagüey. 2009;13(2).
97. Franco DPM, Manzano JQ, Cuevas AL. Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia. ContactoS. 2010;78:25-33.
98. Zamora JR. Parámetros fisicoquímicos de dureza total en calcio y magnesio, pH, conductividad y temperatura del agua potable analizados en conjunto con las Asociaciones Administradoras del Acueducto,(ASADAS), de cada distrito de Grecia, cantón de Alajuela, noviembre. Pensam Actual. 2009;9(12-13).
99. Ministerio de Salud de Costa Rica. Decreto N° 32327-S Reglamento de Calidad de Agua Potable. 2005.
100. Lima Cazorla L, Olivares-Rieumont S, Columbie I, De la Rosa D, Gil R. Niveles de plomo, zinc, cadmio y cobre en el río Almendares, ciudad Habana, Cuba. Rev Int Contam Ambient. 2005;21(3):115-124.
101. Larios-Meoño JF, González Taranco C, Morales Olivares Y. Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú. Rev Fac Ing USIL. 2(2):9-25.
102. Marín Galvín R. Contaminantes emergentes y metales pesados en aguas residuales: un caso de estudio. 2016;8.
103. Perú: Confirman contaminación de la minera Catalina Huanca en Ayacucho | Servindi - Servicios de Comunicación Intercultural [Internet]. [citado 8 de enero de 2018]. Disponible en: <https://www.servindi.org/actualidad/9238>
104. Perez Garrido C, León Rodríguez F, Delgadillo García G. Tratamiento de Aguas. Manual de laboratorio. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán - UNAM; 2013.

105. Matienzo Bernabé RA. Análisis de la influencia de la represa de Gallito Ciego en la calidad del agua del curso inferior del río Jequetepeque. 2015.
106. Reyes YC, Vergara I, Torres OE, Díaz M, González EE. Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Ing Investig Desarro.* 2016;16(2):66-77.
107. Galindo G, Fernández Turiel JL, Gimeno D. El arsénico en las aguas termales del sur de la cuenca del río Salí, Tucumán, Argentina. En: *Arsénico en aguas: origen, movilidad y tratamiento Taller II Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas actuales de hidrología subterránea-IV Congreso Hidrogeológico Argentino.* 2005. p. 63–72.
108. Magalhaes C. Arsenic. An environmental problem limited by solubility. *Pure and Applied Chemistry.* 2002;74(10):1843–1850.
109. Berrocal J, Condorpusa J, Torres G. Mapa de riesgo por contaminación de metales pesados en agua de consumo humano. Región Ayacucho años 2011 al 2016. Ayacucho, Perú; 2017.
110. Recomiendan clausura de fuente de agua en Puquio por contaminación [Internet]. RPP Noticias. [citado 8 de enero de 2018]. Disponible en: <http://rpp.pe/peru/ayacucho/recomiendan-clausura-de-fuente-de-agua-en-puquio-por-contaminacion-noticia-1020468>
111. Pinto R, de Jonge VN, Neto JM, Domingos T, Marques JC, Patrício J. Towards a DPSIR driven integration of ecological value, water uses and ecosystem services for estuarine systems. *Ocean Coast Manag.* febrero de 2013;72:64-79.
112. Murga Cotrina CJ. Propuesta de gestión de residuos sólidos para Sacsamarca, Ayacucho. [Lima, Perú]: Pontificia Universidad Católica del Perú; 2017.

PERSONAS QUE ATENDIAMOS PERSONAS

MICRO RED DE SALUD: HUANCA SACAMARCA RED DE SALUD: CENTRO MES: MARZO EE.SS: P. S. SACAMARCA

N°	LOCALIDAD (distrito y Provincia)	Población total	Pob. Total servida con agua	N° total de Viven. Con conexión Domiciliaria	Tarifa mensual	Fecha de muestreo	Quien Administra el Sistema (Municipio/JAAS/Autoridades, etc)	Ubicación del punto de muestreo (JAAS/Institución, etc)	Cloro Residu al ppm	Observaciones (Indicar tipo captación: manantial, otros y problemas en la infraestructura)
1	Provincia: ASCA Distrito: Comunidad:	61	61	61	1.00	20/3/12	JAAS	1. Domicilio Torres 2. Domicilio Pillaes 3. Aerial Comunal 4. D. E. Primario 5. Domicilio Utebez	0.5 0.5 0.5 0.5 0.5	LAGUNA P.H. 6.0
2	Provincia: Putucansa Distrito: Comunidad:	45	45	45	1.00	22/3/12	JAAS	1. Aerial C.P.U.C. 2. Restaurante Alondra 3. Domicilio Manantial 4. Restaurante Miraval 5. Domicilio Tapatá	0.5 0.5 0.5 0.5 0.5	MANANTIAL P.H. = 7.0
3	Provincia: Colcabamba Distrito: Comunidad:	52	52	52	1.00	23/3/12	JAAS	1. D. E. Primario 2. Domicilio Manantial 3. Domicilio Utebez 4. Domicilio Tapatá 5. Domicilio Tapatá	0.5 0.5 0.5 0.5 0.5	RIO MANANTIAL P.H. = 7.0
4	Provincia: Sacamarca Distrito: Comunidad:	588	371	371	2.00	26/3/12	MUNICIPIO	1. Domicilio Coruña 2. D. E. Primario 3. Municipalidad 4. Domicilio Concha 5. P. S. Sacamarca	0.5 0.5 0.5 0.5 0.5	LAGUNA P.H. 6.5

V"B° AUTORIDAD LOCAL

PERSONAL RESPONSABLE:

Fig a3. Reporte de marzo 2017.

PERSONAS QUE ATENDIAMOS PERSONAS

MICRO RED DE SALUD: HUANCA SACAMARCA RED DE SALUD: CENTRO MES: ABRIL EE.SS: P. S. SACAMARCA

N°	LOCALIDAD (distrito y Provincia)	Población total	Pob. Total servida con agua	N° total de Viven. Con conexión Domiciliaria	Tarifa mensual	Fecha de muestreo	Quien Administra el Sistema (Municipio/JAAS/Autoridades, etc)	Ubicación del punto de muestreo (JAAS/Institución, etc)	Cloro Residu al ppm	Observaciones (Indicar tipo captación: manantial, otros y problemas en la infraestructura)
1	Provincia: ASCA Distrito: Comunidad:	61	61	61	1.00	7/4/12	JAAS	1. Domicilio Utebez 2. Domicilio Pillaes 3. Aerial Comunal 4. D. E. Primario 5. Domicilio Tapatá	0.5 0.5 0.5 0.5 0.5	LAGUNA P.H. 6.0
2	Provincia: Putucansa Distrito: Comunidad:	45	45	45	1.00	18/4/12	JAAS	1. Domicilio Tapatá 2. D. E. Primario 3. Domicilio Alondra 4. Domicilio Tapatá 5. Domicilio Tapatá	0.5 0.5 0.5 0.5 0.5	MANANTIAL P.H. = 7.0
3	Provincia: Colcabamba Distrito: Comunidad:	52	52	52	1.00	22/4/12	JAAS	1. D. E. Primario 2. Domicilio Manantial 3. Domicilio Utebez 4. Domicilio Tapatá 5. Domicilio Tapatá	0.5 0.5 0.5 0.5 0.5	RIO MANANTIAL P.H. 6
4	Provincia: Sacamarca Distrito: Comunidad:	588	371	371	2.00	25/4/12	MUNICIPIO	1. Domicilio Coruña 2. Domicilio Concha 3. Municipalidad 4. D. E. Primario 5. P. S. Sacamarca	0.5 0.5 0.5 0.5 0.5	LAGUNA P.H. 6.5

V"B° AUTORIDAD LOCAL

PERSONAL RESPONSABLE:




Fig a4. Reporte de abril 2017.

REPORTE DE VIGILANCIA DE LA CALIDAD DE AGUA DE CONSUMO HUMANO

DIRECCION REGIONAL DE SALUD AYACUCHO
DIRECCION EJECUTIVA DE SALUD AMBIENTAL
DIRECCION SAMBAJAMENTO AGUAS POTABLES

MICRO RED DE SALUD: HUANCASALCOS RED DE SALUD: CENTRO MES: MAYO 2017 ESS: P.S. SACSAMARCA

N°	LOCALIDAD (distrito y Provincia)	Población total	Pob. Total servida con agua	N° total de Viviens. Con conexión Domiciliaria	Tarifa mensual	Fecha de muestreo	Quien Administra el Sistema (Municipio/AAS/ Autoridades, etc)	Ubicación del punto de muestreo (H/A/N°/Institución, etc.)	Cuero Residuo al ppm	Observaciones (Indicar tipo captación: RAS, manantial, otros y problemas en la infraestructura)
1	Provincia: <u>HCOS</u> Distrito: <u>SACSAMARCA</u> Comunidad: <u>ASCA</u>	61	61	61	1.00	24/5/17	JAAS	1. Demarcación Huancasalcos 2. Demarcación Huancasalcos 3. Demarcación Huancasalcos 4. Demarcación Huancasalcos 5. E.P.A.C.	0.0 0.0 0.0 0.0	LAGUNA PH-5.0
2	Provincia: <u>HCOS</u> Distrito: <u>SACSAMARCA</u> Comunidad: <u>PATACASA</u>	45	45	45	1.00	23/5/17	JAAS	1. Demarcación Huancasalcos 2. Demarcación Huancasalcos 3. Demarcación Huancasalcos 4. Demarcación Huancasalcos 5. E.P.A.C.	0.0 0.0 0.0 0.0	MANANTIAL PH-4.0
3	Provincia: <u>HCOS</u> Distrito: <u>SACSAMARCA</u> Comunidad: <u>COLCABAMBA</u>	52	52	52	1.00	23/5/17	JAAS	1. Demarcación Huancasalcos 2. Demarcación Huancasalcos 3. Demarcación Huancasalcos 4. Demarcación Huancasalcos 5. E.P.A.C.	0.0 0.0 0.0 0.0	MANANTIAL PH-6.0
4	Provincia: <u>HCOS</u> Distrito: <u>SACSAMARCA</u> Comunidad: <u>SACSAMARCA</u>	588	371	371	2.00	26/5/17	MUNICIPIO	1. Demarcación Huancasalcos 2. Demarcación Huancasalcos 3. Demarcación Huancasalcos 4. Demarcación Huancasalcos 5. Demarcación Huancasalcos	0.0 0.0 0.0 0.0	LAGUNA PH-5.0

V°B° AUTORIDAD LOCAL:   

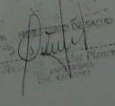
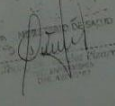
PERSONAL RESPONSABLE:  


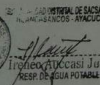

Fig a5. Reporte de mayo 2017.

REPORTE DE VIGILANCIA DE LA CALIDAD DE AGUA DE CONSUMO HUMANO

DIRECCION REGIONAL DE SALUD AYACUCHO
DIRECCION EJECUTIVA DE SALUD AMBIENTAL
DIRECCION SAMBAJAMENTO AGUAS POTABLES

MICRO RED DE SALUD: HUANCASALCOS RED DE SALUD: CENTRO MES: JUNIO 2017 ESS: P.S. SACSAMARCA

N°	LOCALIDAD (distrito y Provincia)	Población total	Pob. Total servida con agua	N° total de Viviens. Con conexión Domiciliaria	Tarifa mensual	Fecha de muestreo	Quien Administra el Sistema (Municipio/AAS/ Autoridades, etc)	Ubicación del punto de muestreo (H/A/N°/Institución, etc.)	Cuero Residuo al ppm	Observaciones (Indicar tipo captación: RAS, manantial, otros y problemas en la infraestructura)
1	Provincia: <u>HCOS</u> Distrito: <u>SACSAMARCA</u> Comunidad: <u>ASCA</u>	588	371	371	2.00	24/6/17	MUNICIPIO	1. Demarcación Huancasalcos 2. Demarcación Huancasalcos 3. Demarcación Huancasalcos 4. Demarcación Huancasalcos 5. Demarcación Huancasalcos	0.5 0.5 0.5 0.5	LAGUNA PH-6.5 20/7/17 CUTE
2	Provincia: <u>HCOS</u> Distrito: <u>COLCABAMBA</u> Comunidad: <u>COLCABAMBA</u>	52	52	52	1.00	03/6/17	JASS	1. Demarcación Huancasalcos 2. Demarcación Huancasalcos 3. Demarcación Huancasalcos 4. Demarcación Huancasalcos 5. E.P.A.C.	0.5 0.5 0.5 0.5	MANANTIAL PH-6.6 20/7/17 CUTE
3	Provincia: <u>HCOS</u> Distrito: <u>ASCA</u> Comunidad: <u>ASCA</u>	61	61	61	1.00	21/6/17	JASS	1. Demarcación Huancasalcos 2. Demarcación Huancasalcos 3. Demarcación Huancasalcos 4. Demarcación Huancasalcos 5. Demarcación Huancasalcos	0.5 0.5 0.5 0.5	LAGUNA PH-6.7 20/7/17 CUTE
4	Provincia: <u>HCOS</u> Distrito: <u>PATACASA</u> Comunidad: <u>PATACASA</u>	45	45	45	1.00	02/6/17	JASS	1. Demarcación Huancasalcos 2. Demarcación Huancasalcos 3. Demarcación Huancasalcos 4. Demarcación Huancasalcos 5. Demarcación Huancasalcos	0.5 0.5 0.5 0.5	MANANTIAL PH-6.6 20/7/17 CUTE

V°B° AUTORIDAD LOCAL:   



PERSONAL RESPONSABLE:  

Fig a6. Reporte de junio 2017.

REPORTES DE VIGILANCIA DE LA CALIDAD DE AGUA DE CONSUMO HUMANO

MICRO RED DE SALUD: HUANCASALCOS RED DE SALUD: CENTRO MES: JULIO 2017 E.E.S.S. P.-S. SACSAMARLA

LOCALIDAD (Distrito y Provincia)	Población total	Pob. Total servida con agua	N° total de Viviens. Con conexión Domiciliaria	Tarifa mensual	Fecha de muestreo	Quien Administra el Sistema (Municipio/JASS/ Autoridades, etc)	Ubicación del punto de muestreo (In/Al/N°/Institución, etc)	Ciclo Residu a ppm	Observaciones (Indicar tipo captación: Río, manantial, otros y problemas en la infraestructura)
Provincia: HCS Distrito: SACSAMARLA Comunidad: ASCA	61	61	61	1.00	24/7/17	JASS	1. Laguna 2. Laguna 3. Laguna 4. Laguna 5. C.R.V.C. 6. Manantial 7. Manantial	0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5	LAGUNA PH. 6.0 INSP. DE GOTE
Provincia: HCS Distrito: SACSAMARLA Comunidad: PATACCASA	45	45	45	1.00	24/7/17	JASS	1. Laguna 2. Laguna 3. Laguna 4. Laguna 5. Manantial 6. Manantial 7. Manantial	0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5	MANANTIAL PH. 7.0 INSP. DE GOTE
Provincia: HCS Distrito: SACSAMARLA Comunidad: COLCABAMBA	52	52	52	1.00	27/7/17	JASS	1. Laguna 2. Laguna 3. Laguna 4. Laguna 5. Manantial 6. Manantial 7. Manantial	0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5	MANANTIAL PH. 6.5 INSP. DE GOTE
Provincia: HCS Distrito: SACSAMARLA Comunidad: SACSAMARLA	588	371	371	2.00	27/7/17	Municipio	1. Laguna 2. Laguna 3. Laguna 4. Laguna 5. Manantial 6. Manantial 7. Manantial	0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5	LAGUNA PH. 6.0 INSP. DE GOTE

V.B. AUTORIDAD LOCAL: DIRECTOR DE CENTRO DE SALUD HUANCASALCOS - PATACCASA
PERSONAL RESPONSABLE: DR. ALEXANDER ANDRÉS ANGULO ANGULO CBP 11253

Fig a7. Reporte de julio 2017.

REPORTES DE VIGILANCIA DE LA CALIDAD DE AGUA DE CONSUMO HUMANO

MICRO RED DE SALUD: HUANCASALCOS RED DE SALUD: CENTRO MES: AGOSTO 2017 E.E.S.S. P.-S. SACSAMARLA

LOCALIDAD (Distrito y Provincia)	Población total	Pob. Total servida con agua	N° total de Viviens. Con conexión Domiciliaria	Tarifa mensual	Fecha de muestreo	Quien Administra el Sistema (Municipio/JASS/ Autoridades, etc)	Ubicación del punto de muestreo (In/Al/N°/Institución, etc)	Ciclo Residu a ppm	Observaciones (Indicar tipo captación: Río, manantial, otros y problemas en la infraestructura)
1. Provincia: HCS Distrito: SACSAMARLA Comunidad: ASCA	61	61	61	1.00	17/8/17	JASS	1. Laguna 2. Laguna 3. Laguna 4. Laguna 5. Manantial 6. Manantial 7. Manantial	0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5	LAGUNA PH. 6.5 INSP. DE GOTE
2. Provincia: HCS Distrito: SACSAMARLA Comunidad: PATACCASA	45	45	45	1.00	17/8/17	JASS	1. Laguna 2. Laguna 3. Laguna 4. Laguna 5. Manantial 6. Manantial 7. Manantial	0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5	MANANTIAL PH. 7.0 INSP. DE GOTE
3. Provincia: HCS Distrito: SACSAMARLA Comunidad: COLCABAMBA	52	52	52	1.00	27/8/17	JASS	1. Laguna 2. Laguna 3. Laguna 4. Laguna 5. Manantial 6. Manantial 7. Manantial	0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5	RIO MANANTIAL PH. 6.5 INSP. DE GOTE
4. Provincia: HCS Distrito: SACSAMARLA Comunidad: SACSAMARLA	588	371	371	2.00	24/8/17	Municipio	1. Laguna 2. Laguna 3. Laguna 4. Laguna 5. Manantial 6. Manantial 7. Manantial	0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5	LAGUNA PH. 6.0 INSP. DE GOTE

V.B. AUTORIDAD LOCAL: DIRECTOR DE CENTRO DE SALUD HUANCASALCOS - PATACCASA
PERSONAL RESPONSABLE: DR. N. Melgar Ruiz CBP 11253

Fig a8. Reporte de agosto 2017.