



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Dirección General de Estudios de Posgrado

Facultad de Ciencias Sociales

Unidad de Posgrado

**Comportamiento de los metales pesados y los
macroinvertebrados bentónicos, como indicadores de
calidad del ambiente ante las distintas presiones
antrópicas en la cuenca media del río Santa**

TESIS

Para optar el Grado Académico de Magíster en Geografía con
mención en Gestión y Ordenamiento Territorial

AUTOR

Mario Manuel POLAR PÉREZ

ASESOR

Dr. Alberto Enrique GARCÍA RIVERO

Lima, Perú

2023



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

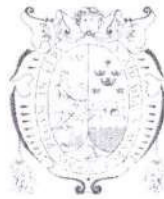
Referencia bibliográfica

Polar, M. (2023). *Comportamiento de los metales pesados y los macroinvertebrados bentónicos, como indicadores de calidad del ambiente ante las distintas presiones antrópicas en la cuenca media del río Santa*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Sociales /Unidad de Posgrado]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Mario Manuel Polar Pérez
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	40099837
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0003-0530-8170
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Alberto Enrique García Rivero
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	001471365
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-8344-9529
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Robert Ramos Alonso
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	40905952
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Walter Javier Diaz Cartagena
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	25726173
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Gilmer Medina Tarrillo
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	41303225
Datos de investigación	

Línea de investigación	Según la <u>RR N° 00017-R-14.</u> , la presente investigación corresponde al Área de Humanidades (E), 4.1. 2. Evaluación de impacto ambiental
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Ancash Provincias: Recuay, Huaraz, Carhuaz, Yungay y Huaylas. Ámbito: Cuenca media del río Santa entre las coordenadas geográficas de: Lat. - 9,672148 Long. -77,478337 Lat. -8,875736 Long. -77,827428 Datum WGS1984
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Marzo 2019 - Mayo 2023
URL de disciplinas OCDE	Ciencias del medio ambiente https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.08 Biología marina, biología de agua dulce y Limnología. https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.06.12 Ciencias ambientales https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#5.07.01



Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
FACULTAD DE CIENCIAS SOCIALES
UNIDAD DE POSGRADO

ACTA DE SUSTENTACIÓN

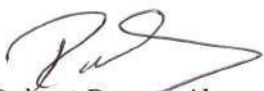
En Lima, a los veinticuatro días del mes de mayo del año dos mil veintitrés, mediante sustentación presencial a cargo de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Sociales de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, a horas 10:00 a.m., bajo la presidencia del Mg. Robert Ramos Alonso y con la concurrencia de los demás miembros del Jurado de Tesis, se inició la ceremonia invitando al graduando, **Polar Pérez, Mario Manuel**, para que hiciera la exposición de la Tesis para optar el Grado Académico de Magíster en Geografía con mención en Gestión y Ordenamiento Territorial. Siendo el trabajo titulado:

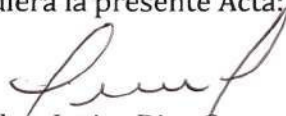
«Comportamiento de los metales pesados y los macroinvertebrados bentónicos, como indicadores de calidad del ambiente ante las distintas presiones antrópicas en la cuenca medio del río Santa»

A continuación, fue sometido a las objeciones por parte del Jurado. Terminando esta prueba y, verificada la votación, se consignó la calificación correspondiente a:

B-MUY BUENO-17

Por tanto, el Jurado, de acuerdo al Reglamento de Grados y Títulos, acordó recomendar a la Facultad de Ciencias Sociales para que proponga que la Universidad Nacional Mayor de San Marcos otorgue el Grado Académico de **Magíster en Geografía con mención en Gestión y Ordenamiento Territorial** al Bachiller **Polar Pérez, Mario Manuel**. Siendo las 11:14 a.m. y para constancia se dispuso se extendiera la presente Acta:


Mg. Robert Ramos Alonso
PRESIDENTE


Dr. Walter Javier Diaz Cartagena
MIEMBRO


Mg. Gilmer Medina Tarrillo
MIEMBRO


Dr. Alberto Enrique García Rivero
ASESOR



UNMSM

Firmado digitalmente por SILVA
SIFUENTES, Jorge Elias Tercero FAU
20148092282 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 24.05.2023 13:05:19 -05:00

Dr. JORGE ELÍAS TERCERO SILVA SIFUENTES
Director

Pabellón José Carlos Mariátegui - Ciudad Universitaria
Teléfono: 6197000 Anexo 4003. Lima - Perú.
Correo: tesisupg.sociales@unmsm.edu.pe
Web: <http://sociales.unmsm.edu.pe/>



Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
FACULTAD DE CIENCIAS SOCIALES
UNIDAD DE POSGRADO

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo **Alberto Enrique García Rivero** en mi condición de asesor acreditado con el **Dictamen Directoral N.º 0153-UPG-F.CC.SS-2020** de la tesis de investigación académico, cuyo título es «**Comportamiento de los metales pesados y los macroinvertebrados bentónicos, como indicadores de calidad del ambiente ante las distintas presiones antrópicas en la cuenca medio del río Santa**», presentado por el bachiller **Polar Pérez, Mario Manuel**, para optar el grado académico de *Magíster en Geografía con mención en Gestión y Ordenamiento Territorial*, **CERTIFICO** que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante el software de similitud textual, el documento evaluado cuenta con el porcentaje de **18 % de similitud**, nivel **PERMITIDO** para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional**.

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del grado correspondiente.

Firma del Asesor _____

DNI: 001471365

Nombres y apellidos del asesor: Alberto Enrique García Rivero



Pabellón José Carlos Mariátegui – Ciudad Universitaria
Teléfono: 6197000 Anexo 4003. Lima – Perú.
Correo: tesisupg.sociales@unmsm.edu.pe,
Web: <http://sociales.unmsm.edu.pe/>

DEDICATORIA

La presente investigación está dedicada a la memoria de mi padre, quien en vida me inculcó las ganas de mejora constante; a mi madre y mis hermanos, con quienes hemos aprendido a perseverar; y, por último, a mi esposa y mi hijo, con quienes en la etapa de la redacción de la tesis hemos batallado y luchado para enfrentar las adversidades de la vida.

AGRADECIMIENTO

En estas líneas, quiero evidenciar mi más profundo agradecimiento a mi maestro Dr. Daisaku Ikeda, filósofo, educador y budista, de quien sigo su filosofía de vida. Asimismo, le agradezco a María Roldán Rojas, por encaminarme en la vida profesional, y a mi asesor y orientador de tesis Dr. Alberto García Rivero. Le expreso mi agradecimiento al Instituto del Mar del Perú, principalmente al Área Funcional de Investigación Marino Costera (AFIMC), lugar donde vengo trabajando como Geógrafo e Investigador desde hace más de nueve años; a mis coordinadores del AFIMC, Dra. Sulma Carrasco Barrera y MSc. Piero Villegas Apaza, por permitir mi crecimiento como profesional en la institución. También le doy las gracias a los biólogos Ruslan Pastor Cuba, Ricardo Dioses Avellaneda y Janet Coila Rojas, por su aporte en el aspecto biológico de la investigación; al ingeniero químico MSc. Jonathan Alfaro Jaucha, por su apoyo en el ámbito químico de la misma. Le agradezco al Dr. Carlos Cabrera Carranza, por confiar *a priori* en mi investigación; a la Dra. Alicia Huamantínco Araujo, por brindarme las sugerencias y herramientas que me permitieron encaminarme en la presente tesis; al Dr. Miguel Comeca Chuquipul, la Dra. Isabel Quintana Cobo y la Mg. Tania Herrera Romero, por su ayuda para enfocar el problema tratado en este estudio desde las ciencias geográficas. A la ingeniera ambiental Luzmila Dávila Roller, por fortalecer la idea de tesis en el ámbito de estudio. Al estudiante de biología Juan Carlos Arias Layme, por el apoyo en la colecta de las muestras en campo; y a los colegas geógrafos Jenny Llanos Ramos, Víctor Yong Chávez y Michelle Alexandra Pérez, por su ayuda constante.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTO	4
ÍNDICE GENERAL	5
ÍNDICE DE FIGURAS.....	9
ÍNDICE DE TABLAS	13
RESUMEN	14
ABSTRACT.....	16
I.INTRODUCCIÓN.....	18
1.1. Presentación	18
1.2. Situación problemática.....	20
1.2.1. Planteamiento del problema.....	20
1.3. Formulación del problema de la investigación	29
1.3.1. Pregunta general de investigación	29
1.3.2. Preguntas específicas de investigación	29
1.4. Justificación de la investigación	29
1.4.1. Justificación teórica	31
1.4.2. Justificación práctica.....	32
1.4.3. Justificación metodológica.....	33
1.4.4. Justificación económica.....	34

1.5. Objetivos de la investigación	35
1.5.1. Objetivo general.....	35
1.5.2. Objetivos específicos	35
II. MARCO TEÓRICO	36
2.1. Antecedentes de la investigación	36
2.2. Bases teóricas.....	44
2.2.1. Desarrollo sostenible.....	44
2.2.2. Sedimentos de fondos de ecosistemas acuáticos	44
2.2.3. Gestión ambiental	45
2.2.4. Teoría de contaminación del agua	45
2.2.5. Geografía aplicada	46
2.3. Marco conceptual o glosario.....	48
2.4. Hipótesis	56
2.4.1. Hipótesis general.....	56
2.4.2. Hipótesis específicas	56
III. METODOLOGÍA	58
3.1. Tipo y diseño de investigación	58
3.1.1. Etapas de la investigación.....	61
3.2. Unidad de análisis	71
3.3. Población y muestra	72
3.4. Características del área de estudio	72
3.4.1. Características físico-geográficas	72

3.4.2. Características socioeconómicas.....	80
IV. RESULTADOS	93
4.1. Parámetros fisicoquímicos en agua.....	93
4.1.1. pH.....	94
4.1.2. Oxígeno disuelto en agua.....	95
4.1.3. Temperatura	96
4.2. Metales pesados en sedimentos	96
4.2.1. Arsénico (As).....	97
4.2.2. Cadmio (Cd).....	99
4.2.3. Plomo (Pb)	101
4.2.4. Cobre (Cu)	103
4.2.5. Zinc (Zn)	105
4.2.6. Mercurio (Hg)	107
4.2.7. Vanadio (V)	109
4.2.8. Cobalto (Co).....	111
4.2.9. Berilio (Be)	113
4.2.10. Níquel (Ni).....	115
4.2.11. Manganeso (Mn).....	117
4.2.12. Talio (Tl).....	119
4.2.13. Antimonio (Sb)	121
4.2.14. Plata (Ag).....	123
4.2.15. Selenio (Se).....	125

4.3. Materia orgánica total (MOT).....	127
4.3.1. Carbonatos (% CaCO ₃).....	128
4.4. Macroinvertebrados bentónicos.....	129
4.4.1. E9 y E9B.....	130
4.4.2. E6A y E6B.....	133
4.4.3. E7A y E7B.....	135
4.4.4. E8A y E8B.....	137
4.5. Distribución de las mayores concentraciones de los parámetros de calidad en los sedimentos.....	139
4.6. Contrastación de hipótesis.....	141
CONCLUSIONES.....	154
RECOMENDACIONES.....	156
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	158
Anexo 1. Fotografías del proceso de investigación.....	170
Anexo 2. Cadena de custodia de los resultados obtenidos en campo y luego comparados por cada estación con información de la ANA.....	173

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. Caudal promedio mensual del periodo 2016.....	22
FIGURA 2. Administración local del agua Huaraz.....	24
FIGURA 3. Volumen de uso de agua por actividad antrópica.....	25
FIGURA 4. Mapa político administrativo de la cuenca del río Santa, las capitales provinciales.....	65

<u>FIGURA 5. Mapa de estaciones de muestreo en la cuenca hidrográfica del río Santa</u>	66
<u>FIGURA 6. Imágenes de la colecta de las muestras en campo</u>	69
<u>FIGURA 7. Distribución de las estaciones de muestreo según su altitud</u>	72
<u>FIGURA 8. Mapa geológico del ámbito de la zona de estudio</u>	75
<u>FIGURA 9. Mapa hidrológico de la zona de estudio</u>	80
<u>FIGURA 10. Distribución de la población en la zona de estudio</u>	82
<u>FIGURA 11. Mapa de distribución de la población en la zona de estudio</u>	83
<u>FIGURA 12. Mapa de distribución de las tierras de cultivo en la zona de estudio</u>	86
<u>FIGURA 13. Mapa de la red hídrica del río Santa y distribución de concesiones para la crianza de trucha en la zona de estudio</u>	87
<u>FIGURA 14. Concentración de actividades mineras en la zona de estudio</u>	89
<u>FIGURA 15. Presencia de pasivos ambientales en la zona de estudio</u>	90
<u>FIGURA 16. Concentración de la población y distribución de las plantas de tratamiento de aguas residuales en la zona de estudio</u>	91
<u>FIGURA 17. Parque Nacional del Huascarán</u>	93
<u>FIGURA 18. Variación del pH según las estaciones de muestreo</u>	95
<u>FIGURA 19. Variación del oxígeno disuelto según las estaciones de muestreo</u>	96
<u>FIGURA 20. Variación de la temperatura según las estaciones de muestreo</u>	97
<u>FIGURA 21. Variación del arsénico respecto a los años 2013, 2014 y 2019</u>	98
<u>FIGURA 22. Variación del arsénico según las estaciones de muestreo</u>	100
<u>FIGURA 23. Variación del cadmio respecto a los años 2013, 2014 y 2019</u>	101
<u>FIGURA 24. Variación del cadmio según las estaciones de muestreo</u>	102
<u>FIGURA 25. Variación del plomo respecto a los años 2013, 2014 y 2019</u>	103
<u>FIGURA 26. Variación del plomo según las estaciones de muestreo</u>	104
<u>FIGURA 27. Variación del cobre respecto a los años 2013, 2014 y 2019</u>	105

<u>FIGURA 28. Variación del cobre según las estaciones de muestreo</u>	106
<u>FIGURA 29. Variación del zinc respecto a los años 2013, 2014 y 2019</u>	107
<u>FIGURA 30. Variación del zinc según las estaciones de muestreo</u>	108
<u>FIGURA 31. Variación del mercurio respecto a los años 2013, 2014 y 2019</u>	109
<u>FIGURA 32. Variación del mercurio según las estaciones de muestreo</u>	110
<u>FIGURA 33. Variación del vanadio respecto a los años 2013, 2014 y 2019</u>	111
<u>FIGURA 34. Variación del vanadio según las estaciones de muestreo</u>	112
<u>FIGURA 35. Variación del cobalto respecto a los años 2013, 2014 y 2019</u>	113
<u>FIGURA 36. Variación del cobalto según las estaciones de muestreo</u>	114
<u>FIGURA 37. Variación del berilio respecto a los años 2013, 2014 y 2019</u>	115
<u>FIGURA 38. Variación del berilio según las estaciones de muestreo</u>	116
<u>FIGURA 39. Variación del níquel respecto a los años 2013, 2014 y 2019</u>	117
<u>FIGURA 40. Variación del níquel según las estaciones de muestreo</u>	118
<u>FIGURA 41. Variación del manganeso respecto a los años 2013, 2014 y 2019</u>	119
<u>FIGURA 42. Variación del manganeso según las estaciones de muestreo</u>	120
<u>FIGURA 43. Variación del talio respecto a los años 2013, 2014 y 2019</u>	121
<u>FIGURA 44. Variación del talio según las estaciones de muestreo</u>	122
<u>FIGURA 45. Variación del antimonio respecto a los años 2013, 2014 y 2019</u>	123
<u>FIGURA 46. Variación del antimonio según las estaciones de muestreo</u>	124
<u>FIGURA 47. Variación de la plata respecto a los años 2013, 2014 y 2019</u>	125
<u>FIGURA 48. Variación de la plata según las estaciones de muestreo</u>	126
<u>FIGURA 49. Variación del selenio respecto a los años 2013, 2014 y 2019</u>	127
<u>FIGURA 50. Variación del selenio según las estaciones de muestreo</u>	128
<u>FIGURA 51. Variación de la MOT según las estaciones de muestreo</u>	129
<u>FIGURA 52. Variación de los carbonatos según las estaciones de muestreo</u>	130

<u>FIGURA 53. Variación de los macroinvertebrados bentónicos en la estación Rnegr-A</u>	132
<u>FIGURA 54. Variación de los macroinvertebrados bentónicos en la estación Rnegr-B.....</u>	133
<u>FIGURA 55. Variación de los macroinvertebrados bentónicos en la estación Rsant6-A...</u>	134
<u>FIGURA 56. Variación de los macroinvertebrados bentónicos según la estación Rsant6-B</u>	135
<u>FIGURA 57. Variación de los macroinvertebrados bentónicos según la estación Rsant7-A</u>	136
<u>FIGURA 58. Variación de los macroinvertebrados bentónicos según la estación Rsant7-B</u>	136
<u>FIGURA 59. Variación de los macroinvertebrados bentónicos según la estación Rsant8-A</u>	138
<u>FIGURA 60. Variación de los macroinvertebrados bentónicos según la estación Rsant8-B</u>	138
<u>FIGURA 61. Distribución de las mayores y menores concentraciones de los metales pesados por estación y por año de muestreo</u>	140
<u>FIGURA 62. Análisis de varianza y gráfica de intervalos del arsénico por cada año de muestreo</u>	143
<u>FIGURA 63. Análisis de varianza y gráfica de intervalos del cadmio por cada año de muestreo</u>	143
<u>FIGURA 64. Análisis de varianza y gráfica de intervalos del plomo por cada año de muestreo</u>	143
<u>FIGURA 65. Análisis de varianza y gráfica de intervalos del cobre por cada año de muestreo</u>	144
<u>FIGURA 66. Análisis de varianza y gráfica de intervalos del zinc por cada año de muestreo</u>	144
<u>FIGURA 67. Análisis de varianza y gráfica de intervalos del mercurio por cada año de muestreo.....</u>	144
<u>FIGURA 68. Análisis de varianza y gráfica de intervalos del vanadio por cada año de muestreo</u>	145
<u>FIGURA 69. Análisis de varianza y gráfica de intervalos del cobalto por cada año de muestreo</u>	145

<u>FIGURA 70. Análisis de varianza y gráfica de intervalos del berilio por cada año de muestreo</u>	145
<u>FIGURA 71. Análisis de varianza y gráfica de intervalos del níquel por cada año de muestreo</u>	146
<u>FIGURA 72. Análisis de varianza y gráfica de intervalos del manganeso por cada año de muestreo</u>	146
<u>FIGURA 73. Análisis de varianza y gráfica de intervalos del talio por cada año de muestreo</u>	146
<u>FIGURA 74. Análisis de varianza y gráfica de intervalos del antimonio por cada año de muestreo</u>	147
<u>FIGURA 75. Análisis de varianza y gráfica de intervalos de la plata por cada año de muestreo</u>	147
<u>FIGURA 76. Análisis de varianza y gráfica de intervalos del selenio por cada año de muestreo</u>	147
<u>FIGURA 77. Comparación de metales pesados con organismos bentónicos</u>	149

ÍNDICE DE TABLAS

<u>TABLA 1. Problemática del agua, los objetivos de desarrollo sostenible y el ordenamiento territorial como instrumento</u>	32
<u>TABLA 2. Matriz de operacionalización de las variables</u>	60
<u>TABLA 3. Matriz de consistencia</u>	61
<u>TABLA 4. Ubicación de las estaciones de muestreo</u>	64
<u>TABLA 5. Estándares de calidad ambiental y las categorías y subcategorías que refieren las actividades económicas que se desarrollan en el ámbito de la zona de estudio</u>	94
<u>TABLA 6. Índices ecológicos de los macroinvertebrados bentónicos según las estaciones de muestreo</u>	131

RESUMEN

La cuenca media del río Santa ubicada en el departamento de Ancash, presenta una geología caracterizada por la presencia de rocas volcánicas y sedimentarias, así como depósitos cuaternarios. Estas acumulaciones, junto con los residuos generados por las diversas actividades antrópicas que se desarrollan en la zona, ejercen presión sobre los diversos ecosistemas de la cuenca. Estas actividades, tales como el desarrollo urbano, la industria, el cultivo de truchas, la minería, los pasivos ambientales, la agricultura y las centrales hidroeléctricas, aportan residuos en diferentes escalas y concentraciones. De ese modo, los residuos son transportados hacia las zonas medias y bajas de la cuenca a través de la escorrentía superficial del río ocasionando una variación en su concentración durante ciclos anuales y en periodos de estiaje. El objetivo de la presente investigación fue “Evaluar el comportamiento de las concentraciones de metales pesados en sedimentos y de macroinvertebrados bentónicos, como indicadores de calidad ambiental, ante las distintas presiones antrópicas que se desarrollan en la parte media de la cuenca del río Santa”.

Para ello, se colectaron muestras de agua, sedimentos y organismos bentónicos en cuatro estaciones de muestreo y cuatro adicionales a modo de control. Los resultados determinaron que, en principio, las concentraciones de los metales pesados en sedimentos podrían estar relacionadas con las presiones antropogénicas presentes. Sin embargo, al comparar estadísticamente con los resultados con los estudios realizados por la Autoridad Nacional del Agua (ANA), se observó que los niveles de concentración de los metales pesados varían según la estación de muestreo y por cada año. Además, se encontró que la abundancia y diversidad de organismos bentónicos podrían vincularse más estrechamente con las presiones antrópicas presentes en el entorno en el entorno de cada estación evaluada, debido a que los indicadores biológicos son bastante sensibles y confiables para determinar la salud del

ecosistema. Esta investigación podría ser un insumo clave para determinar una planificación de los usos antrópicos y asociarlos a los procesos de Gestión y Ordenamiento del Territorio.

Palabras clave: macroinvertebrados bentónicos, metales pesados, presiones antropogénicas, ordenamiento del territorio.

ABSTRACT

The middle basin of the Santa River presents a geology characterized by the presence of volcanic and sedimentary rocks, as well as Quaternary deposits. These accumulations, along with the waste generated by various anthropogenic activities carried out in the area, exert pressure on the various ecosystems of the basin. These activities, such as urban development, industry, trout farming, mining, environmental liabilities, agriculture, and hydroelectric power plants, contribute waste in different scales and concentrations. Thus, the waste is transported towards the middle and lower zones of the basin through the river's surface runoff, causing a variation in its concentration during annual cycles and drought periods. The objective of this research was to "Evaluate the behaviour of heavy metal concentrations in sediments and benthic macroinvertebrates, as indicators of environmental quality, in the face of the different anthropogenic pressures that occur in the middle part of the Santa River basin". To do so, water, sediment, and benthic organism samples were collected at four sampling stations and four additional control stations. The results determined that, initially, heavy metal concentrations could be related to anthropogenic pressures present. However, when comparing the results with studies carried out by the National Water Authority (Spanish acronym ANA), it was observed that the concentration levels of heavy metals vary according to the sampling station and the year. In addition, it was found that the abundance and diversity of benthic organisms could be more closely linked to the anthropogenic pressures present in the environment of each evaluated station. This research could be a key input to determine a planning of anthropic uses and associate them to the Territory Management and Planning processes.

Key words: benthic macroinvertebrates, heavy metals, anthropogenic, pressures
middle, land use planning.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Presentación

La contaminación en los cuerpos de agua de los ecosistemas lóticos a causa de las actividades antrópicas es un problema que no solo se manifiesta en la alteración de la salud del ecosistema, sino que también afecta a la salud humana. Por ese motivo, es importante estudiarla y darla a conocer, estableciendo métodos que puedan ser comprendidos como herramientas base para la mejora en su gestión, así como incluyéndola en los estudios del territorio.

La cuenca del río Santa es una de las 62 cuencas hidrográficas del Perú que desembocan sus aguas en el océano Pacífico. Se ubica en la parte centro-norte del Perú, entre la latitud sur $10^{\circ} 08' - 08^{\circ} 01'$ y longitud oeste $78^{\circ} 38' - 77^{\circ} 12'$. Tiene una superficie de $11\,596,52\text{ km}^2$, y su río principal tiene una longitud de 3016 km. La naciente, la parte media y la parte baja, por la margen izquierda, de esta cuenca se encuentran al interior de la región Áncash; y en la parte baja, por la margen derecha, sus aguas son el límite interdepartamental con la región La Libertad.

En los años 2013, 2014 y 2016, la Autoridad Nacional del Agua (ANA) llevó a cabo estudios en toda la cuenca hidrográfica, para determinar la calidad de sus aguas superficiales en los tres trabajos, así como de los sedimentos del fondo del cuerpo de agua en los dos primeros. En dichas investigaciones, se utilizaron métodos de muestreo puntual, que el presente estudio ha tomado como referencia al emplear tres de las mismas estaciones de muestreo y uno adicional, con el fin de analizar la variación espaciotemporal en los niveles de concentración de los metales pesados en los sedimentos. Es de destacar que en las mismas estaciones de muestreo no se han reportado estudios relativos a los macroinvertebrados bentónicos de la cuenca, los cuales serían un aporte adicional en esta investigación. Con ello se podría establecer

un patrón de comportamiento del ecosistema lótico, de manera espaciotemporal respecto a la presencia y distribución de los metales pesados en los sedimentos, así como a la distribución y abundancia de los macroinvertebrados bentónicos, que habitan en el fondo de los cuerpos de agua y usan como hábitat los diferentes tipos de sustrato de fondo.

Teniendo en cuenta el sentido de desarrollo de las actividades antrópicas en el territorio, se hace necesario dar respuesta a la siguiente interrogante: ¿en qué medida el comportamiento de los metales pesados en los sedimentos, así como la abundancia y diversidad de los macroinvertebrados bentónicos, podrían responder a las diversas presiones antrópicas que se desarrollan en el ámbito de la zona de estudio?

Cabe señalar que las aguas del río Santa, según Resolución Jefatural n.º 202-2010-ANA, están clasificadas con la categoría de uso 1, “Poblacional y recreacional”, y la subcategoría A2, “Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional”. Considerando que dichas aguas abastecen a diversos usos, sumado a la presencia de metales pesados en el sedimento, se puede señalar que este sería un medio tóxico para diversos organismos que utilizan las aguas del río.

El contexto mencionado en la referencia, así como los trabajos de investigación que el autor de la presente tesis viene desarrollando en una entidad pública, motivan esta investigación, la cual se permite realizar aportes desde la perspectiva geográfica, con el objetivo de evaluar el comportamiento de las concentraciones de los metales pesados en sedimentos y los macroinvertebrados bentónicos, como indicadores de calidad ambiental, ante las distintas presiones antrópicas que se desarrollan en la parte media de la cuenca del río Santa.

Esta investigación se desarrolló utilizando un enfoque geográfico, que relaciona las variables bióticas, abióticas y antrópicas, en cada una de las cuatro estaciones de muestreo, como respuesta ante las presiones antropogénicas. Ante ello se planteó la siguiente hipótesis:

la presencia de los metales pesados determinados en los niveles de concentraciones, así como la distribución en niveles de abundancia de los macroinvertebrados bentónicos, varían en relación con la ubicación de las actividades antrópicas, como respuesta ante las distintas presiones antropogénicas que se desarrollan en la parte media de la cuenca del río Santa.

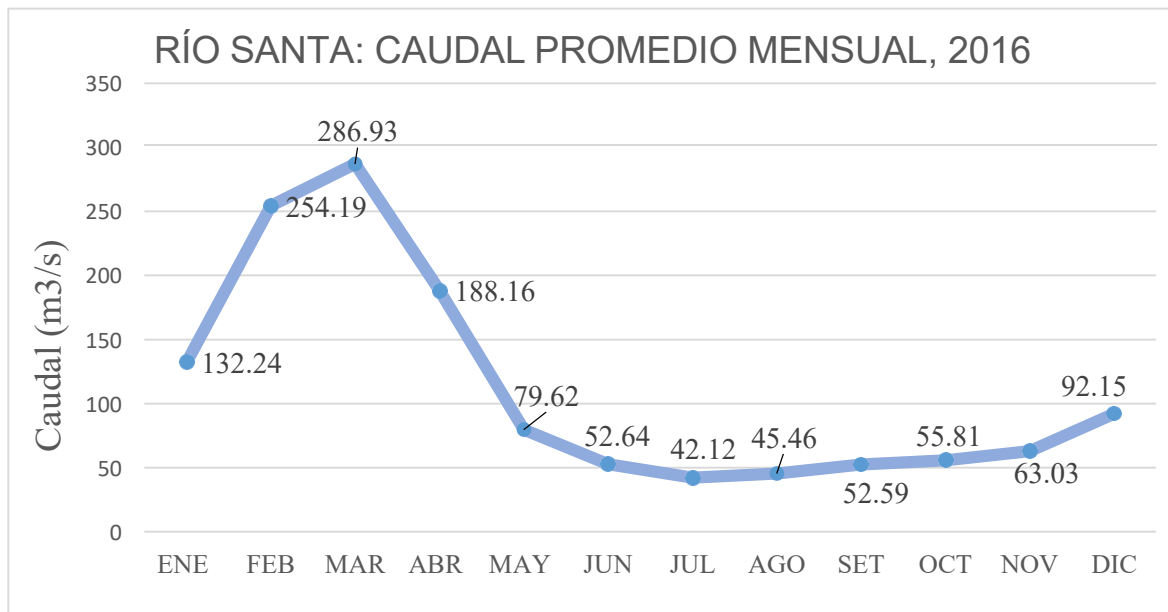
1.2. Situación problemática

1.2.1. Planteamiento del problema

La cuenca hidrográfica del río Santa, cuyas aguas desembocan en el océano Pacífico, está localizada en la costa norte del Perú y es considerada una de las principales cuencas de la vertiente occidental peruana, debido a su caudal permanente hasta en periodos de estiaje. Esta cuenca tiene una extensión total de 11 596,52 km² y un perímetro de 960,302 km; su cuenca húmeda tiene un área de 10 200 km² y está fijada por encima de los 2000 m s. n. m. La longitud promedio de la cuenca es de 320 km y su ancho promedio es de 38 km.

Su nacimiento principal, según evaluación ambiental del Ministerio de Energía y Minas (1998a), se encuentra en la laguna Aguash, ubicada en el extremo sureste del callejón de Huaylas, la misma que vierte sus aguas a través del río Tuco hacia la laguna Conococha. Cabría recordar que las lagunas mencionadas provienen del proceso de desglaciación. En el ámbito de la cuenca también está el pico más alto del país, cuya altura es de 6768 m s. n. m., en la denominada cordillera de los Andes. El escurrimiento superficial de las aguas del río Santa se origina por las precipitaciones ocurridas en la parte alta y por los deshielos, el cual es un factor determinante en el comportamiento del caudal y sus niveles de crecimiento. Este aumento inicia en el mes de diciembre y llega a un pico máximo en el mes de marzo; posteriormente, se reduce de manera gradual en los meses de abril y los caudales mínimos se presentan en los meses de julio y agosto (Autoridad Nacional del Agua, 2017).

FIGURA 1. Caudal promedio mensual del periodo 2016



Nota: En la figura se observa la curva del caudal promedio mensual del río Santa.

Adaptado de la Autoridad Nacional del Agua (2017).

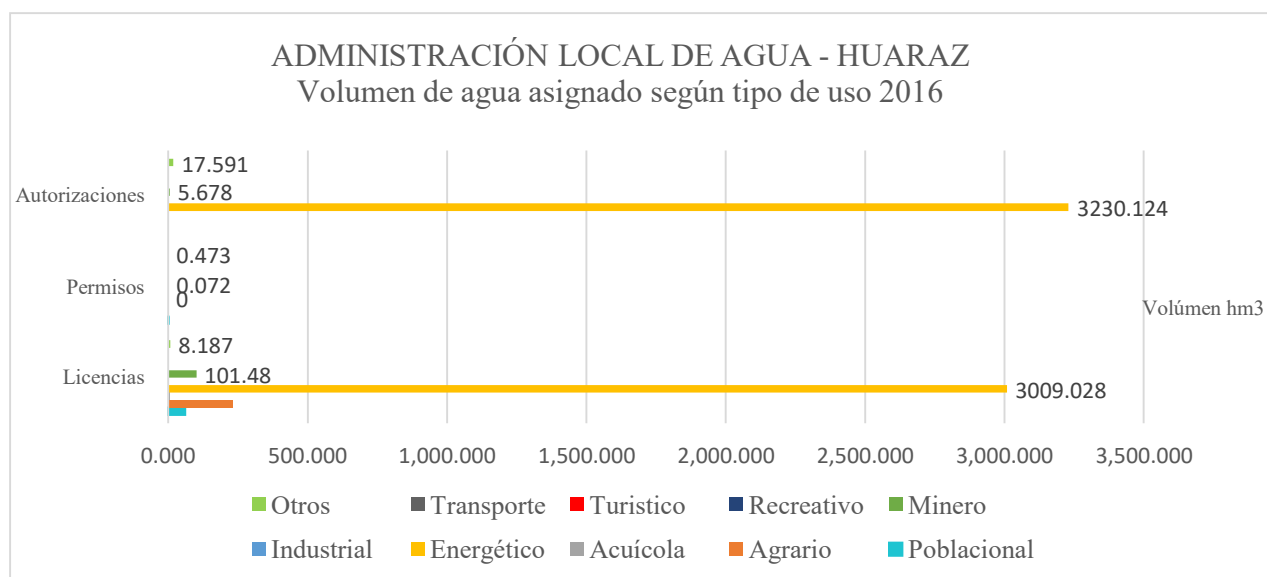
La Mancomunidad Municipal del Valle Fortaleza y del Santa, en el año 2017, mencionó que toda la cuenca húmeda del Santa proviene de los deshielos de los nevados del flanco occidental de la cordillera Blanca, que inciden en la escorrentía superficial, manteniendo descarga en periodos de estiaje. Por tanto, uno de los problemas asociados al agua sería el impacto del cambio climático en la cordillera Blanca, que se manifestaría con el aumento de la temperatura y la disminución de la cobertura glaciar, lo cual indicaría la disminución de las reservas hídricas e implicaría su reducción en un futuro. En ese sentido, sería un peligro latente para la población regional, debido a la disminución del recurso y a su consecuente aumento de demanda, los que podrían ser futuros escenarios de conflicto respecto al uso de las reservas hídricas (Silverio, 2017).

A lo largo de la cuenca se vienen desarrollando diversas actividades económicas productivas, las cuales tienen dependencia directa de las aguas del Santa, como la generación de energía hidroeléctrica, la minería, las actividades urbanas, la agricultura, la ganadería, la acuicultura o crianza de truchas y los proyectos hidroenergéticos. Asimismo, es necesario precisar que en algunos lugares de la cuenca se encuentran asentados pasivos ambientales. Todas las actividades mencionadas ocupan un lugar físico de la cuenca, pero varían en su dimensión espacial, así como en su comportamiento. El mayor problema es que dichas actividades frecuentemente generan residuos capaces de alterar la calidad media del ecosistema lótico, los cuales pueden presentarse de manera significativa o poco significativa. Estas fuentes de contaminación producen afectaciones en los hábitats de los cuerpos de agua, no solo por la intrusión fisicoquímica de los contaminantes, sino también por el desbalance del flujo de los sedimentos en los cuerpos de agua, lo que evidencia una disminución de los recursos hídricos.

Escobar (2002) indica que las aguas continentales ingresan al medio marino, el cual es el cuerpo receptor de sus aguas y demás contaminantes. La Autoridad Nacional del Agua (2013) evaluó la calidad del agua y el sedimento en la cuenca del Santa, principalmente en las provincias de Pallasca, Huaraz, Carhuaz, Huaylas y Recuay en diecinueve distritos; e identificó 46 fuentes contaminantes asociadas al saneamiento, ocho provenientes de actividades mineras, cuatro relacionadas con botaderos de residuos sólidos y catorce pasivos ambientales.

Las actividades mencionadas que utilizan el agua cuentan con licencias, autorizaciones y permisos otorgados por las autoridades (ANA), que permiten el uso racional y consensuado del recurso hídrico. Según la Figura 2, la mayor cantidad de licencias y autorizaciones son dispuestas para el uso energético, seguido por el uso agrario y el poblacional (Autoridad Nacional del Agua, 2017).

FIGURA 2. Administración local del agua Huaraz



Adaptado de la Autoridad Nacional del Agua (2017).

De acuerdo con el Ministerio de Energía y Minas (2001), las principales centrales hidroeléctricas que se abastecen con las aguas de la cuenca del Santa son veinticuatro, las cuales proporcionan energía eléctrica de 780 MW. De ellas, las más importantes son la Central Hidroeléctrica Huanri (225 MW) y la Central Hidroeléctrica Cañón del Pato (154 MW). La energía generada sirve para abastecer a miles de habitantes de la región. Asimismo, la ANA (2017) indica que, en Huaraz, el mayor volumen del agua superficial sirve para la producción de energía y, en menor medida, para el abastecimiento de uso poblacional, agrario y acuícola. Las actividades que menor cantidad de agua utilizan son las de tipo recreativo, la industria, el turismo y la minería. Sin embargo, las actividades mineras y recreativas son las que hacen mayor uso de agua subterránea, como lo indica la Figura 3.

FIGURA 3. Volumen de uso de agua por actividad antrópica



Adaptado de Autoridad Nacional del Agua (2017).

A nivel nacional, Áncash es el tercer departamento con el mayor número de licencias otorgadas (como derecho) para las actividades mineras, antecedido por las regiones de Lima y Arequipa. Además, es el segundo departamento en tener áreas con derechos mineros titulados, las cuales representan el 33,27 % de su territorio. Las principales empresas mineras establecidas en esta región son las siguientes: Compañía Minera Antamina, Adriana, Contonga, Huanzalá, Nueva California, Pachapaqui, Pucarrajo, entre otras. Estas se dedican, sobre todo, a la extracción de cobre (Cu) y zinc (Zn) —Antamina es uno de los mayores productores de concentrados de Cu y Zn—, además de plomo (Pb), plata (Ag), molibdeno (Mo) y oro (Au) (Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, 2019).

Por su parte, de acuerdo con el Ministerio de Energía y Minas (1998b), una gran parte de la actividad minera es desarrollada por la micro y pequeña minería de polimetálicos, minería aurífera y minería no metálica. Dichas actividades son iniciadoras de procesos contaminantes, como la generación de desmonte, el acceso a oxidación de estructuras rocosas, la alteración del

nivel freático, la fisuración de estructuras, etc. Asimismo, son las causantes de los procesos fisicoquímicos de flotación o hidrometalúrgicos de lixiviación, los cuales incrementan la contaminación por iones disueltos. De otro lado, los contaminantes provenientes de las fábricas y los centros poblados (aguas residuales domésticas) vinculados con las actividades mineras generan también impactos negativos en la cuenca.

En efecto, el MINEM señala que las fuentes de contaminación minero-metalúrgica inciden directa o indirectamente en la cuenca del río Santa; y que las aguas residuales podrían provenir de plantas operativas formales, por medio de cuatro modos: efluentes de drenaje de canchas de relaves y de plantas de neutralización, aguas de mina, residuos y desechos industriales. Otras fuentes serían los pasivos o la acumulación de material abandonado, que es de dos tipos: desmonte de mina y relaves antiguos. Igualmente, el estudio del ministerio menciona otras formas de contaminación: residuos domésticos y aguas residuales domésticas.

Villena Chávez (2018) menciona que la calidad del agua, el cuidado de la salud y el crecimiento económico no son aspectos que puedan vivir armónicamente, por el usufructo del recurso hídrico en el territorio, ya que la minería goza de ciertos privilegios que no tienen otros usos antrópicos. De la misma manera, si bien la minería es un pilar importante para el desarrollo del país, su actividad genera material particulado que altera la calidad del agua y el sedimento. En ese sentido, Eróstegui Revilla (2009), respecto a la contaminación por metales pesados — que también contaminan el agua y los cultivos—, afirma que, en el ambiente, los efectos se determinan en el cambio de alcalinidad del suelo, considerando su nivel de concentración. En los cuerpos de agua (ríos y lagunas), estos afectan principalmente a la fauna y dicha alteración tiene un efecto silencioso, no apreciable a simple vista, que es nocivo para la salud.

Otro problema asociado a los impactos ambientales por metales pesados está relacionado a los pasivos ambientales, que están localizados en ambas vertientes de la cuenca del río Santa. Romero, Flores y Pacheco (2010) mencionan que el depósito del relave minero

Alianza, ubicado en la zona de Ticapampa, inició sus operaciones en el año 1912 por la compañía francesa The Anglo French Silver Mining Co.; posteriormente, sus activos pasaron a otras empresas mineras. Sus actividades se asentaron en las orillas del río Santa, y allí produjeron impactos negativos en las aguas, así como en el sedimento. Cabe señalar que los relaves están compuestos de residuos sin valor comercial que son desechados de los procesos metalúrgicos. Según este estudio, si bien el pH del río es neutro, los metales pesados tienen valores altos y varían en función del caudal. Además, los valores del arsénico (As) y el cadmio (Cd), con un pH ácido en el ambiente, son muy móviles, ya que las muestras fueron tomadas en agua.

El Departamento de Áncash se compone de 20 provincias, 166 distritos y 7411 centros poblados, los cuales se encuentran habitados por poblaciones urbanas (que tienen como mínimo 100 viviendas contiguas) y rurales (que no tienen más de 100 viviendas contiguas o, si las tienen, se encuentran dispersas sin formar manzanas). Según los resultados del censo del 2017 realizado por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (2018), el número de habitantes de la región Áncash es de 1 083 519, donde la población urbana representa el 63,4 % y la población rural, el 36,6 %. Además, entre los periodos intercensales del 2007 al 2017, la población urbana se incrementó en 96 418 habitantes, mientras que la población rural disminuyó en 76 358.

Las provincias que presentan el mayor número de habitantes son Santa, que alberga a 435 807 personas; seguida por Huaraz, que tiene 163 936 habitantes. Esta última provincia se encuentra en el ámbito del presente estudio de investigación. A nivel regional, el abastecimiento de agua (dentro y fuera de sus domicilios) por red pública en la población urbana es de 83,2 % y en el ámbito rural, de 75,9 %; el restante de ambos porcentajes se abastece de dicho recurso mediante pilones de agua, camiones cisternas, pozos, ríos o acequias. Asimismo, las viviendas que disponen de servicios higiénicos conectados a la red pública en

el ámbito urbano son el 79,3 % y en el ámbito rural, el 33,5 %; el resto elimina sus excretas en pozos ciegos, a campo abierto, al aire libre, etc.

A nivel de la cuenca, las aguas del Santa atraviesan, en la región Áncash, 10 provincias y 53 distritos, y, en la región La Libertad, 2 provincias y 10 distritos. El problema asociado a ello es que sus aguas acarrean los residuos de dichas poblaciones.

Los recursos hídricos no solo sirven para el desarrollo del ser humano. De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas (2014), el agua se encuentra en el núcleo del desarrollo sostenible, es decir, es fundamental tanto para el desarrollo socioeconómico, como para la producción de energía y alimentos, y para la adaptación del ser humano y la sociedad ante el cambio climático. El río Santa, además de descargar sus aguas en el océano Pacífico, alimenta dos megaproyectos de irrigación, que son de interés nacional por impulsar el desarrollo económico del país: el Proyecto Especial Chavimochic (en la región La Libertad) y el Proyecto Especial Chinecas (en la región Áncash). Chavimochic busca suministrar con más eficiencia el recurso hídrico para el riego de los valles de Chao, Virú, Moche y Chicama, con lo que contribuye a la agroexportación y la generación de energía eléctrica. Por su parte, Chinecas, obra de irrigación de la zona costera de Áncash, permite el mejoramiento de los niveles de producción agraria (Autoridad Nacional del Agua, 17 de mayo de 2011).

Otro factor clave es el acarreo de los sedimentos que son transportados hacia las partes bajas de la cuenca de manera constante. Escobar (2002), respecto al medio marino, afirma que en el borde costero el 80 % de los sedimentos que se quedan almacenados son transportados por los cuerpos de agua continental, mientras que el 20 % por el proceso eólico. Esto se debe a que los ríos transportan los sedimentos a través de las corrientes, las cuales varían según la dimensión de la partícula del sustrato y según el caudal del río, y se asientan cuando el caudal disminuye. De otro lado, las partículas de mayor tamaño son arrastradas por la corriente, en un evento que se denomina “arrastre de fondo” (Hudson, 1997).

Considerando que los medios acuáticos son hábitats que albergan organismos hidrobiológicos en toda la columna del agua (superficie y fondo), las alteraciones de estos ecosistemas podrían estar generando cambios en la biología acuática. Cabe señalar que los recursos obtenidos en los ríos también sirven para el consumo humano directo. En ese contexto, las investigaciones de Bertolotti Rivera y Noé Moccetti (2018) hallaron concentraciones de plomo, mercurio y cadmio en músculos de peces provenientes del río Santa y de dos lagunas cercanas al río. Las muestras fueron colectadas en las riberas de las localidades Catac, Taricá y Palmira, de la ciudad de Huaraz. Los metales pesados pueden ser absorbidos por difusión pasiva, transporte activo o endocitosis.

De otro lado, los organismos bentónicos o macroinvertebrados bentónicos son seres vivos que se desenvuelven en el sustrato sin importar el tipo de fondo del cuerpo de agua, puesto que estos pueden vivir en la superficie o en el fondo (Quipúzcoa, Velazco, Castañeda y Marquina, 1998). Además, estos podrían estar interactuando por las presiones humanas, ya que los ecosistemas acuáticos favorecen la acumulación de algunos compuestos inorgánicos del sistema acuático. Estos sedimentos precipitan y se concentran en el lecho del río, y pueden ser absorbidos por la biota acuática mediante las membranas biológicas dada su elevada afinidad química (Ortiz-Romero, Delgado-Tascón, Pardo-Rodríguez, Murillo-Perea y Guio Duque, 2015).

En ese sentido, para el autor de la presente investigación fue necesario tomar muestras en sedimentos, debido a que estos son fuente importante de materiales orgánicos e inorgánicos, los cuales varían en relación con la columna del agua. Asimismo, los sedimentos son hábitats para los organismos bentónicos, que interactúan y en algunos casos nos pueden indicar el estado del ecosistema acuático y, por ende, nos permiten inferir los tipos de presiones que se encuentran en su entorno.

1.3. Formulación del problema de la investigación

Teniendo en cuenta la situación problemática, se define el siguiente problema de investigación:

1.3.1. Pregunta general de investigación

- ¿En qué medida el comportamiento de los metales pesados en los sedimentos, así como la abundancia y diversidad de los macroinvertebrados bentónicos, podrían responder a las diversas presiones antrópicas que se desarrollan en el ámbito de la zona de estudio?

1.3.2. Preguntas específicas de investigación

- ¿En qué medida difieren los niveles de concentración de los metales pesados en los sedimentos y la abundancia y diversidad de los macroinvertebrados bentónicos, según cada una de las estaciones muestreadas, en la cuenca media del río Santa?
- ¿Cuál es la relación que podrían tener los niveles de concentración de metales pesados y la abundancia y diversidad de los macroinvertebrados bentónicos, según cada estación de muestreo?
- ¿Cuáles son las principales actividades antrópicas que podrían incidir sobre el comportamiento de los niveles de concentración de los metales pesados en el sedimento, así como la abundancia y diversidad de los macroinvertebrados bentónicos, en la zona de estudio?

1.4. Justificación de la investigación

Los recursos hídricos son importantes para el desarrollo del ser humano. Pero, además, según el Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de Naciones Unidas (2014), el agua está en el epicentro del desarrollo sostenible, el desarrollo socioeconómico, la producción de

energía y la producción de alimentos. Asimismo, es crucial en la adaptación del mundo al cambio climático y es el vínculo entre la sociedad y el ambiente. En la siguiente Tabla 1, se muestran los problemas ambientales relacionados a la calidad de este recurso, su relación con los objetivos de desarrollo sostenible de las Naciones Unidas y, por último, una de las herramientas de gestión que podría tener la capacidad de dar soluciones a estos problemas, el ordenamiento territorial.

TABLA 1. La problemática del agua se encuentra enmarcada en los siguientes componentes, problemas ambientales, así como en los objetivos de desarrollo sostenible y el ordenamiento territorial como instrumento de gestión y planificación.

Problemas ambientales (Ráez y Douranjeanni 2016)	1. Caos ambiental urbano,	5. Deterioros en fuentes de agua dulce
	2. Minería ilegal	6. Cambio climático
	3. Planificación sectorial irresponsable	7. Impactos ambientales sobre la salud
	4. Pasivos ambientales	8. Información ambiental dispersa
Objetivos de Desarrollo Sostenible (PNUD 2016)	ODS. 3. Salud y bienestar	
	ODS. 6. Agua limpia . Salud y bienestar	
	ODS. 11. Ciudades y comunidades sostenibles	
	ODS. 13. Acción por el clima	
	ODS. 14. Vida submarina	
Lineamientos de Política para el Ordenamiento Territorial (MINAM 2015)	Lineamiento 1.1. Promover la conservación, el uso y el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y de la diversidad biológica	
	Lineamiento 1.3. Gestión integral de las cuencas hidrográficas y las zonas marino-costeras para contribuir al desarrollo sostenible del país	
	Lineamiento 5.2. Promover la recuperación de los ecosistemas deteriorados y la protección de áreas frágiles y relictos	

La tabla identifica tres componentes, los cuales describe los problemas a los que están sometidos a causa de actividades antrópicas, así como también a factores climáticos, asimismo, la importancia en uso de los ODS los cuales se enmarcan en la sostenibilidad de los recursos hídricos y por último, en los Lineamiento para el OT, ponen énfasis en la importancia en la conservación, gestión y recuperación de ecosistemas.

Posteriormente se presentan cuatro tipos de justificación (teórica, práctica, metodológica y económica) los cuales fueron detallados para la construcción de la investigación.

1.4.1. Justificación teórica

La presente investigación contribuye al entendimiento de los temas referidos a la contaminación por metales pesados, así como a otros referidos al cuidado del medioambiente, que tienen gran vigencia en la actualidad. Por ello, corresponde analizar el comportamiento de la variación espaciotemporal de los metales pesados, los

macroinvertebrados bentónicos y la calidad fisicoquímica de una parte de la cuenca del río Santa, los mismos que tendrían relación como respuesta a las diferentes presiones antropogénicas.

Con esta investigación, se busca dar a conocer el comportamiento, en la variación espaciotemporal, de los metales pesados y los macroinvertebrados bentónicos. Si bien la presencia de los metales es un problema no solo para salud humana, sino también para la salud del ecosistema; la investigación busca identificar las mayores concentraciones de los metales y compararlas con los resultados obtenidos en estudios anteriores por la ANA. Considerando las dos variables colectadas en los sedimentos del fondo del cuerpo de agua (metales y organismos bentónicos), se busca hallar una correlación, que permitirá responder las preguntas de investigación.

El aporte al conocimiento es transversal, debido a que la investigación toma elementos ambientales y los compara con factores antrópicos. Ciertamente, esta tesis no va a resolver el problema de la contaminación, pero sí procurará fortalecer el conocimiento acerca de la relación entre las posibles causas y sus efectos.

Finalmente, los métodos utilizados en esta investigación pueden ser replicados en diferentes estudios ambientales, con lo cual este trabajo aportaría en temas ambientales.

1.4.2. Justificación práctica

El beneficio social de la investigación consiste en que esta puede ser útil para realizar una mejor gestión no solo de los recursos hídricos, sino de diferentes procesos de planificación del territorio, como el manejo de cuencas o el ordenamiento territorial con base en cuencas. Su impacto será positivo, debido a que se está trabajando con indicadores de calidad del agua, sedimentos y organismos bentónicos, que se están midiendo en cada estación de

muestreo, tomándose en cuenta las variables fisicoquímicas y el conteo de los organismos bentónicos.

Este trabajo es novedoso e inédito, debido a que es un análisis que no suele desarrollarse en las ciencias geográficas en el país. Además, los resultados de los análisis de metales en los sedimentos de las estaciones señaladas fueron actualizados y, por su lado, es la primera vez que se estudian los macroinvertebrados bentónicos en la zona de investigación, así como la relación que tienen los organismos con los metales pesados.

1.4.3. Justificación metodológica

La identificación de metales pesados en los sedimentos y en los cuerpos de agua en diferentes ecosistemas es clave, debido a que nos permite detectar la alteración por niveles de concentración de cada metal y metaloide. Asimismo, los ecosistemas lóticos son hábitats para diferentes tipos de especies, que cumplen un ciclo de vida, las características de los sustratos o sedimentos permiten el desarrollo de organismos principalmente los bentónicos, los cuales son parte de una cadena trófica cumpliendo un rol fundamental en el ciclo de vida de los hábitats. Los sedimentos en el fondo de los cuerpos de agua tienen la particularidad de ser registros importantes de alguna alteración antrópica por los procesos de sedimentación. De hecho, es en ese lugar donde habitan algunos organismos cuyo factor clave es su diversidad y abundancia, así como su predominancia, los cuales también forman parte de indicadores que permiten identificar la calidad ambiental, ya que existe relación entre el agua, los sedimentos, los organismos, las variables fisicoquímicas y las presiones.

La elección y desarrollo del tema, se debe a que el autor viene trabajando en proyectos de similares características en el Instituto del Mar del Perú (IMARPE), cuyos resultados permiten al Estado peruano, así como a diferentes autoridades tomar mejores decisiones. Uno de los proyectos en mención se denominó “*Evaluación de metales pesados*”

en áreas de extracción de recursos bentónicos determinados en las zonas marino-costeras de las regiones Ica, Arequipa, Moquegua y Tacna”, con Resolución Ministerial n.º 584-2018-PRODUCE. Por su parte, el autor ha realizado también la investigación “*Variabilidad de la calidad acuática en la zona marino-costera entre Ilo y Morro Sama, en el año 2017, y su implicancia para la maricultura*”, presentada en el VI Congreso de Ciencias del Mar del Perú en 2018. En este último trabajo, se evidencia la variación espaciotemporal de la calidad del ambiente en la zona marino-costera. En la actualidad, el autor forma parte de un grupo de investigación dedicado a analizar la contaminación por contaminantes de hidrocarburos en el mar peruano.

1.4.4. Justificación económica

La presente investigación desde su diseño inicial hasta su término, ha sido ejecutada por el autor con sus propios recursos económicos, las muestras han sido analizadas por el Laboratorio de Contaminación Química del IMARPE, (centro laboral del autor). El beneficio económico que aporta esta tesis se obtendría no solo por la identificación de la variación de las concentraciones de los metales pesados a través del tiempo, sino también por la interpretación de su relación con las presiones antropogénicas y la respuesta de los organismos bentónicos como indicadores de calidad ambiental. En efecto, una vez identificados, estos podrían ser utilizados en la generación de conocimiento para los planes de manejo y mejora de la calidad de los ecosistemas. Por último, los aportes de esta tesis nos pueden permitir evaluar cambios en el comportamiento de las variables ambientales como parte de un problema ambiental que afecta a diferentes ecosistemas del país.

1.5. Objetivos de la investigación

1.5.1. Objetivo general

- Evaluar el comportamiento de las concentraciones de metales pesados en sedimentos y de macroinvertebrados bentónicos, como indicadores de calidad ambiental, ante las distintas presiones antrópicas que se desarrollan en la parte media de la cuenca del río Santa.

1.5.2. Objetivos específicos

- Determinar los diferentes niveles de concentración de los metales pesados en el sedimento, así como la diversidad y abundancia de los macroinvertebrados bentónicos, en las estaciones de muestreo colectados de la parte media de la cuenca del río Santa.
- Identificar la relación entre las mayores concentraciones de metales pesados y los macroinvertebrados bentónicos, según cada una de las estaciones de muestreo.
- Identificar y caracterizar las diversas actividades socioeconómicas que se desarrollan en el entorno de cada una de las estaciones de muestreo.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

En la cuenca del río Santa se han realizado estudios de similares características al presente trabajo; en su mayoría, han sido elaborados por ecólogos, biólogos e ingenieros ambientales, y promovidos por instituciones públicas. Estos trabajos analizan la distribución de los metales pesados en aguas continentales, así como su relación con organismos acuáticos, insumos claves para identificar la calidad del recurso hídrico, mediante la elaboración y/o aplicación de índices de calidad de las aguas.

Entre los años 2013, 2014 y 2016, la Autoridad Nacional del Agua (ANA) realizó estudios a nivel de toda la cuenca. En los dos primeros años, estos se denominaron *Evaluación de la calidad del agua y de los sedimentos en la cuenca del río Santa* (2013 y 2014). Ambos estudios —realizados en noviembre de 2013 y abril de 2014, respectivamente— tuvieron el objetivo de evaluar el estado de la calidad de los cuerpos naturales de agua superficial en el ámbito de la cuenca del río Santa, con base en los resultados de los análisis de muestras de agua y sedimento y de las mediciones en campo. El tercer estudio se denominó *Resultados del 3.º monitoreo participativo de la calidad del agua superficial en la cuenca del río Santa 2015* (2016^a) y tuvo como objetivo el descrito en los años anteriores, variando solo la fecha del muestreo: setiembre y octubre de 2015. En los estudios en referencia, en los dos primeros años, solo se tomaron muestras de sedimentos de la cuenca y, en el último año, se tomó solo muestra de agua.

Las estaciones de muestreo se localizaron en el río Santa, así como en sus principales ríos tributarios: Tablachaca, Tuco, Yanayacu, Negro, Quilcayhuanca, Hualcán, Marcará y Ranrahirca. Habrá que apuntar que la subcuenca Tablachaca es la segunda de mayor longitud en la cuenca del Santa.

Para la determinación de la calidad del agua de las muestras tomadas en el río Santa y la subcuenca Tablachaca, los resultados fueron comparados con los estándares de calidad ambiental (ECA), categoría 1-A2, debido a que la cuenca del Santa, según su clasificación de uso, tiene la categoría 1, “Poblacional y recreacional”, y la subcategoría A2, “Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional”. De otro lado, las muestras colectadas en los sedimentos se compararon también con los estándares de calidad ambiental canadienses o CEQG 2011 (Canadian Environmental Quality Guidelines), cuyos valores guía son el estándar interino de calidad del sedimento o ISQG (Interim Sediment Quality Guideline), y el nivel de efecto probable o PEL (Probable Effect Level). El ISQG implica que, si la concentración del sedimento está por debajo del mínimo, no presenta efecto adverso en los organismos bentónicos; y el PEL, que, si la concentración está sobre el máximo, existe un efecto biológico adverso en los organismos bentónicos.

En el 2013, en los estudios de la ANA, se colectaron 40 estaciones de muestreo. Los resultados de los parámetros colectados en aguas de la subcuenca Tablachaca y el río Santa que sobrepasaron los límites del ECA fueron el pH de 4,43 a 8,45, los coliformes fecales de < 1,8 NMP/100 mL a 1 100 000 NMP/100 mL, el nitrógeno amoniacal de < 0,02 mg/L a 8,331 mg/L, el fósforo total de < 0,010 mg/L a 3,5 mg/L, la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) de < 2,00 mg/L a 33,61 mg/L, el Al de < 0,01 mg/L a 9,00 mg/L, el Fe de 0,002 mg/L a 35,994 mg/L, el Mn de < 0,0004 mg/L a 7,4380 mg/L y el Pb de < 0,0004 mg/L a 0,0215 mg/L. Adicionalmente, en la subcuenca de Tablachaca, estuvieron por encima del ECA la Demanda Química de Oxígeno (DQO) de < 10,0 mg/L a 99,33 mg/L, el As de < 0,001 mg/L a 0,058 mg/L, el Be de < 0,003 mg/L a 0,802 mg/L, el Cd de < 0,0004 mg/L a 0,0138 mg/L, el Ni de < 0,0004 mg/L a 0,1088 mg/L y el Zn de < 0,003 mg/L a 2,0146 mg/L. Los resultados de los análisis de metales pesados en el sedimento de las muestras colectadas en el río Santa y la subcuenca Tablachaca (comparados

con la guía PEL) indican que estuvieron por encima de los estándares el As, el Cd, el Pb y el Zn; así como el Cu en la subcuenca Tablachaca (Autoridad Nacional del Agua, 2013).

En el 2014, en los estudios de la ANA, se colectaron 40 estaciones de muestreo. Los resultados de los parámetros colectados en aguas de la subcuenca Tablachaca y el río Santa que sobrepasaron los límites del ECA fueron el pH de 4,61 a 8,77, los coliformes fecales de < 1,8 NMP/100 mL a 330 000 NMP/100 mL, el fósforo total de < 0,010 mg/L a 1,237 mg/L, el nitrógeno amoniacal de < 0,020 mg/L a 1,574 mg/L, el Al de < 0,01 mg/L a 23,11 mg/L, el As de < 0,001 mg/L a 0,163 mg/L, el Cd de < 0,0004 mg/L a 0,0083 mg/L, el Fe de 0,004 mg/L a 39,170 mg/L, el Mn de 0,0011 mg/L a 2,1480 mg/L y el Ni de < 0,0004 mg/L a 0,1067 mg/L. Adicionalmente, en la subcuenca de Tablachaca, estuvieron por encima del ECA los aceites y grasas de < 1,00 mg/L a 1,2 mg/L, la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) de < 2,00 mg/L a 14,42 mg/L, la Demanda Química de Oxígeno (DQO) de < 10,0 mg/L a 61,15 mg/L, el Pb de < 0,0004 mg/L a 0,3481 mg/L y el Zn de < 0,003 mg/L a 0,517 mg/L. Los resultados de los análisis de metales pesados en el sedimento de las muestras colectadas en el río Santa y la subcuenca Tablachaca (comparados con la guía PEL) indican que estuvieron por encima de los estándares el As, el Cd, el Pb y el Zn; así como el Cu en la subcuenca Tablachaca (Autoridad Nacional del Agua, 2014).

En el 2016, en los estudios de la ANA, se colectaron 48 estaciones de muestreo. Los resultados de los parámetros colectados en aguas de la subcuenca Tablachaca y el río Santa que sobrepasaron los límites del ECA fueron el pH de 3,36 a 8,76, el oxígeno disuelto de 3,76 mg/L a 4,92 mg/L, los coliformes fecales de 2 NMP/100 mL a 4 900 000 NMP/100 mL, el nitrógeno amoniacal de 0,03 mg/L a 12,33 mg/L, el fósforo total de 0,154 mg/L a 3820 mg/L, el As de 0,011 mg/L a 0,068 mg/L, el Al de 0,24 mg/L a 14,92 mg/L, Be de 0,517 mg/L a 0,589 mg/L, el Cd de 0,007 mg/L a 43,740 mg/L, el Fe de 1,014 mg/L a 43,740 mg/L, el Mg de 0,4910 mg/L a 4,8530 mg/L, el Ni de 0,0290 mg/L a

0,094 mg/L y el Zn de 0,043 mg/L a 0,31 mg/L. Adicionalmente, en la subcuenca del Tablachaca, estuvieron por encima del ECA la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) de 24 mg/L a 87 mg/L, el Sb 0,023 mg/L; y, en el río Santa, la Demanda Química de Oxígeno (DQO) de 24 mg/L a 173 mg/L. En este año de muestreo, no se tomaron muestras de sedimentos (Autoridad Nacional del Agua, 2016^a).

Los resultados indicados por cada año de estudio descrito en el marco teórico resaltan los parámetros que superaron los ECA; sin embargo, existieron algunas estaciones de muestreo donde los valores estuvieron por debajo de los límites establecidos en el estándar nacional.

Otro antecedente es la investigación de Gallozo Huerta y Yauri Cochachin (2017), que se desarrolló en la región Áncash, en la subcuenca Yanayacu, tributaria al río Santa. Este trabajo tuvo como objetivo “determinar la calidad del agua mediante el uso de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de la calidad del agua, relacionado con metales pesados en la subcuenca Yanayacu-Áncash, setiembre 2015-abril 2016” (p. 6). Para ello, se colectaron muestras de agua en ocho estaciones de monitoreo y se midieron los parámetros fisicoquímicos pH de 4,33 a 7,96, temperatura de 0,37 °C a 17,44 °C y oxígeno disuelto de 1,47 mg/L a 7,41 mg/L; los nutrientes nitratos con < 1,0 mg/L y fosfatos con < 0,05 mg/L; y los metales pesados como el As de < 0,001 mg/L a 0,046 mg/L, el Cd de 0,0004 mg/L a 0,0024 mg/L, el Co de 0,0003 mg/L a 0,0192 mg/L, el Cr de 0,0005 mg/L a 0,017 mg/L, el Cu de 0,0019 mg/L a 0,017 mg/L, el Pb de 0,0004 mg/L a 0,0986 mg/L y el Hg con < 0,001 mg/L.

La toma de muestras ocurrió en dos periodos climáticos, la avenida y el estiaje, y los resultados para determinar la calidad del agua fueron comparados con los ECA categoría 3, así como con el Índice Biótico Andino (ABI). Las estaciones fueron desde la YAN-AG-01,

ubicada a los 4728 m s. n. m., hasta la YAN-AG-08, a los 3577 m s. n. m. Los resultados indican que, en ambas épocas del año, las estaciones YAN-AG-01, YAN-AG-02, YAN-AG-03 y YAN-AG-04 fueron de mala calidad, mientras que las estaciones YAN-AG-05, YAN-AG-06 y YAN-AG-07 presentaron calidad de moderada a buena y la estación YAN-AG-08 varió de mala a regular calidad. De todos los metales pesados muestreados, solo el plomo se encontró por encima del ECA.

Custodio Villanueva y Chanamé Zapata (2016), en su investigación desarrollada en el río Cunas, ubicado en la cuenca hidrográfica del río Mantaro, tuvieron como objetivo evaluar el estado de la biodiversidad de macroinvertebrados bentónicos mediante indicadores ambientales. Para este trabajo, se colectaron muestras en tres estaciones de muestreo en las localidades de San Blas (3440 m s. n. m.), Huarisca (3315 m s. n. m.) y La Perla (3229 m n. s. m.), en dos periodos climáticos. Los resultados de los parámetros fueron, en coliformes termotolerantes, de 39,0 NMP/100 ml a 1100,00 NMP/100 ml; en la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), de 4,07 mg/L a 13,01 mg/L; en los nitratos, de 0,001 mg/L a 0,400 mg/L; y en los fosfatos, de 0,001 mg/L a 0,126 mg/L. Asimismo, se midieron *in situ* algunos valores y los resultados fueron los siguientes: el oxígeno disuelto, de 4,09 mg/L a 10,16 mg/L; los sólidos totales disueltos, de 95,00 mg/L a 415,00 mg/L; la conductividad, de 301,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 612,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$; la temperatura, de 14,40 °C a 22,30 °C; el pH, de 7,00 a 8,50; y la turbidez, de 2,10 FTU a 19,00 FTU. De otro lado, el muestreo de macroinvertebrados bentónicos se realizó con una red Surber. Los autores mencionan que los parámetros colectados tendrían relación directa con las presiones antropogénicas que se asientan en parte de la zona de estudio.

Los niveles de pH estuvieron dentro del límite del ECA; el incremento y la variación por cada estación de muestreo podrían ser una reacción a las actividades antrópicas cercanas a cada una de las estaciones de muestreo, o podrían deberse a la actividad fotosintética

(CO₂), ya que dos de las tres estaciones reflejan niveles óptimos de oxígeno disuelto. La temperatura estuvo uniforme en las tres estaciones. La turbidez y los sólidos totales disueltos presentaron mayores valores en temporada de lluvia. Los valores de nitratos, fosfatos y coliformes termotolerantes no estuvieron por debajo de los límites del ECA. Así, los autores concluyen que las descargas de aguas residuales ejercen presiones sobre la diversidad de los macroinvertebrados bentónicos.

Tapia *et al.* (2018), en su artículo académico, analizaron la composición faunística, la riqueza de familias y la calidad del agua de las lagunas altoandinas del Perú, para estimar la diversidad y abundancia de invertebrados bentónicos y determinarlos como indicadores biológicos. Se muestrearon 16 lagunas, 4 de ellas en la cuenca del río Rímac y 12 en la cuenca del río Mantaro. Aunque esta investigación se realizó en cuerpos acuáticos lénticos, es importante señalar el uso de los invertebrados bentónicos como organismos indicadores.

La presencia de factores condicionantes, principalmente por usos antrópicos, ha generado conflictos ambientales que se manifiestan en los cuerpos de agua e imposibilitan el manejo integrado de las cuencas. El deterioro de las condiciones ambientales y fisicoquímicas fue el motivo por el que los autores de la investigación vieron conveniente estudiar los cuerpos de agua lénticos. Las lagunas muestreadas —refieren los autores— fueron categorizadas en tres tipos: no impactadas, moderadamente impactadas e impactadas por minería. Para ello, se tomaron muestras fisicoquímicas en el agua, en cada una de las estaciones de muestreo, y se registraron la temperatura, la conductividad eléctrica, los sólidos totales disueltos y el pH. Se colectaron muestras de metales pesados en agua en 22 parámetros; sin embargo, los autores refieren que las muestras de invertebrados acuáticos solo fueron colectadas en 6 lagunas. Este procedimiento de recolección se realizó en periodos de estiaje, en el año 2015.

Las muestras de calidad de agua fueron comparadas con los estándares de calidad ambiental (ECA): categoría 4 (Lagos y lagunas), categoría 3 (Riego de vegetales y bebida de animales). De los 22 parámetros en metales pesados, 14 superaron el ECA. Los autores indican que estos metales pesados (Al, At, B, Cd, Ca, Cu, Cr, Fe, Mn, Hg, Mo, Pb, Se, Tl y Zn) limitan el crecimiento de las plantas al impedir la absorción de nutrientes y ocasionar mortandad y disminución en zonas ribereñas. El estudio concluye que las familias Corixidae, Chironomdebajo de y Hyalellidae son resistentes a las condiciones ambientales alteradas por la materia orgánica y los metales pesados, y que su presencia podría ser un indicador de la calidad ambiental en los cuerpos de agua.

Romero, Flores y Pacheco (2010), por su parte, realizaron una evaluación de los impactos negativos de la relavera polimetálica de Ticapampa, que afecta la calidad del agua del río Santa. El depósito de esta relavera pertenece a la Compañía Minera Alianza, ubicada en el distrito de Ticapampa, a orillas del río Santa. Cabe resaltar que esta relavera tiene más de 100 años ocupando el territorio.

Para medir el impacto negativo, se consideraron cuatro estaciones de muestreo de agua del río Santa: P-204 (M1), P-205 (M2), P-203 (M3) y P-201 (M4). Las estaciones estuvieron aguas abajo de la relavera, y los datos colectados en campo permitieron determinar los impactos por metales pesados y sus parámetros asociados.

Los resultados de los análisis indican que los mayores valores de As, con 0,108 mg/L; Sb, con 0,010 mg/L, y Cd, con 0,003 mg/L, se encontraron en la estación M2. Mientras que los de Cu, con 0,121 mg/L; Fe, con 1,0 mg/L; Pb, con 0,024 mg/L, y Zn, con 0,075 mg/L, se hallaron en la estación M3. En las dos estaciones restantes se midieron valores bajos para el estudio. Según los autores, las calidades de agua encontradas cumplen con los requerimientos del Decreto Ley n.º 17752, Ley General de Aguas del Ministerio de

Energía y Minas; a excepción de lo concerniente al Fe y el Zn, parámetros que se hallaron en la estación M3 y estuvieron por encima del estándar nacional.

En las ciencias geográficas, pocos investigadores han abordado el tema de la contaminación del recurso hídrico y su relación con las actividades antrópicas, y ese es el caso de Sánchez Sepúlveda (2011). Según el autor, existiría un vínculo entre el incremento de la contaminación y la concentración de la población, la cual presionaría el ecosistema de la cuenca hidrográfica del río Chiquito (Michoacán) en México. Dichas presiones son el resultado de la falta de planificación y habilitación de espacios adecuados para el desarrollo de actividades productivas, las cuales se han incrementado en los últimos años. El objetivo del trabajo fue caracterizar, diagnosticar y evaluar el estado actual del ambiente en la cuenca del río Chiquito, a partir de un enfoque geográfico ambiental. Con esa intención, se analizaron los recursos hídricos y se establecieron las bases para la planeación dentro del marco de cuencas periurbanas. Finalmente, el autor menciona la importancia del tratamiento de las aguas residuales para la protección y el mejoramiento de la calidad de las aguas de la cuenca, así como de todo el ecosistema lótico. Esta depuración debe ser incluida en los procesos de planificación y ordenamiento del territorio, los cuales deben considerar la participación de las comunidades. El trabajo concluye que en la cabecera de la cuenca (su nacimiento) se registraron aguas de mejor calidad respecto a las de la zona media, cercana a la ocupación humana, que es donde se reduce la calidad debido a las residuales urbanas.

De forma general, los diferentes estudios que han sido referenciados abordan la problemática de la degradación de la calidad de las aguas superficiales y los sedimentos, debido a las presiones antrópicas. Para ello, estos trabajos se han valido de la caracterización de las concentraciones de metales pesados y/o la abundancia de los macroinvertebrados bentónicos, valores que se han dado a conocer en los resultados.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Desarrollo sostenible

El “desarrollo sostenible” ha sido definido por diferentes instituciones internacionales como Naciones Unidas (ONU) o la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), el cual surge como una medida de protección de la naturaleza y sus recursos ante el incremento del número de habitantes, lo que generaba mayores demandas por los recursos naturales y, debido al descontrol producía deterioros al medioambiente. En ese sentido, el término fue creado por la necesidad de establecer una relación directa y equilibrada entre la economía y la ecología. Anteriormente, a este concepto se le denominaba ecodesarrollo, pero fue reemplazado por el de desarrollo sostenible. Según el informe Brundtland, en 1987, el término fue utilizado por primera vez como “aquel que satisface las necesidades del presente sin comprometer la habilidad de las generaciones futuras a fin de satisfacer sus propias necesidades” (Gracia-Rojas, 2015, p. 10).

2.2.2. Sedimentos de fondos de ecosistemas acuáticos

En su artículo los autores Lepane, Varvas, Viitak, Alliksaar y Heinsalu (2007) el Lago Ruige en Estonia, mencionan que los sedimentos de los fondos de los ecosistemas acuáticos son archivos naturales que no solo registran y almacenan los cambios en periodos climáticos, sino que también dan cuenta de las presiones a los que son sometidos por actividades antrópicas debido a su absorción y acumulación. El material acumulado disuelto en forma de partículas se transporta por la escorrentía superficial, así como por los vientos siguiendo la dirección de un forzante exógeno.

En el caso específico de la cuenca del río Santa, los autores Morera, Condom, Crave, Vouchel y Galvez, (2011), identifican la tasa de erosión y dinámica de los sedimentos, así como los cambios de los sustratos de fondo ocurren con mayor frecuencia en periodos

lluviosos (enero-abril). En efecto, en este periodo, los autores mencionan que se erosiona el 60,3 % de los sedimentos, los cuales podrían ser claves para tomar como referencia que los sistemas lóticos se reinician en diferentes periodos del año, para lo cual los sustratos de fondo no serían un buen indicador debido a las altas tasas de recambio.

2.2.3. Gestión ambiental

Según Samboni, Reyes y Carvajal, (2011), mencionan que la gestión ambiental implica el manejo óptimo de las actividades antrópicas con relación a la formulación de políticas y la administración de los recursos naturales. En cuanto a la presente investigación, aludiremos a los recursos hídricos, de los que se ha solido discutir sobre sus usos, más no de su conservación. En ese contexto, es importante repensar en una gestión integrada de los recursos hídricos para un manejo sostenible. Para medir las soluciones a modo de prospección, sería necesario considerar la “teoría del cambio”, la cual permite mediante un amplio análisis de la situación que requiere modificarse, alcanzando un cambio positivo a futuro. Se trata de un enfoque que busca comprender e intervenir en el contexto con una visión de éxito basándose en la medición de resultados favorables o cambios deseados (Ortiz y Rivero, 2007).

2.2.4. Teoría de contaminación del agua

La contaminación del agua consiste en la alteración de las propiedades fisicoquímicas que afectan la calidad del recurso hídrico, muchas veces provocada por las actividades antrópicas. Según Conesa Fernández-Vítora (1997) menciona que la calidad del agua es un término relativo y está relacionado con el uso al que se le destina; por lo tanto, el recurso hídrico puede estar alterado para una actividad, pero puede ser aplicable o servir para otra. Esta medición de la calidad se realiza mediante parámetros; en efecto, el uso de indicadores de calidad ambiental permite dar un valor numérico determinado. La medición continua de

un parámetro permite generar un índice, que facilita la interpretación del comportamiento de un contaminante en los recursos hídricos (Vivas-Aguas, Espinosa y Parra Henríquez, 2013). Así, el uso y la conservación del agua se estiman según estándares o criterios específicos (Conesa Fernández-Vítora, 1997). La contaminación de los recursos hídricos es consecuencia de la descarga de aguas de fuentes puntuales y no puntuales; por tanto, es necesario identificar la fuente para controlar la alteración sobre el medio acuático (Henry y Heinke, 1999).

2.2.5. Geografía aplicada

La geografía humana se encarga de estudiar la práctica de los hombres sobre el espacio físico. En esta investigación, permite establecer vínculos entre las manifestaciones visibles de la situación actual y los procesos de ocupación humana, con el objetivo de comprender el impacto de dicha ocupación en la degradación del ecosistema. Puyol, Estébanez y Méndez (1988) mencionan que el espacio geográfico es una construcción social y que la ocupación del territorio se realiza con una relativa organización (orden), según el interés de sus ocupantes, dentro de las condiciones impuestas por los condicionamientos naturales y las fuerzas disponibles. Las sociedades transforman el medio natural y lo utilizan como sustrato para una mejor interrelación antrópica, haciéndolo en algunas veces irreconocible.

En ese contexto, la ciencia y el método científico han brindado las herramientas para construir una geografía aplicada. Asimismo, el enfoque sistémico de la geografía no solamente relaciona los análisis a diferentes escalas, sino que une la parte de humana con lo físico-natural. Este es un punto clave para la concepción de una geografía cuantitativa, que se vale de diferentes métodos matemáticos, acompañados de los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Sin embargo, es necesario indicar que la aplicación de técnicas cuantitativas en geografía no garantiza realizar una “geografía cuantitativa”. Pero sí es cierto

que la cuantificación se convierte en una forma de expresar la realidad, por lo que los aportes de las ciencias geográficas cuantitativas contribuyen al proceso de toma de decisiones (Buzai, 2015).

De acuerdo con Bocco y Urquijo (2013), la geografía *per se* aborda un campo disciplinario mixto, el cual permite analizar y responder a diferentes problemáticas. Así, la “geografía ambiental” es un enfoque emergente que sobresale entre las ciencias ambientales, debido a que las investigaciones que realiza están articuladas con el territorio. De igual manera, si bien la ciencia geográfica durante muchos años ha contribuido poderosamente a las ciencias ambientales, dicho enfoque interdisciplinario no ha alcanzado su madurez. Por lo tanto, existe la necesidad de fortalecer esta aproximación científica con aportes de la geografía humana y la geografía física, que permitan identificar tanto los problemas ambientales como las posibles respuestas a escala regional y local.

En esa rama del conocimiento, el concepto de territorio, que, según Mazurek (2005), fue introducido de la etiología, estaba asociado al comportamiento individual y colectivo de los animales. Posteriormente, el término fue adaptado a otras ciencias, entre ellas las ciencias sociales. La construcción social del territorio está integrada por tres grupos de actores. El primero son los actores locales, también denominados sociedad civil, conjunto complejo implicado por el desarrollo local, cuya interacción se manifiesta por medio de la organización y generación de externalidades positivas o negativas. El segundo actor es el Estado y su aparato administrativo-político, que dicta normativas y administra políticamente el territorio (tierra, medio ambiente, sistemas de incentivos). Por último, está el contexto internacional, que presiona a través de ventajas comparativas, según sus potencialidades reguladas por el mercado.

Buj Buj (2003), respecto al libro *El cambio global* de Martí Boada y David Saurí, señala que, en los últimos años, las cuestiones medioambientales han adquirido protagonismo debido a la intensa explotación de los recursos naturales, la que ha tenido marcados efectos en la degradación ambiental. Agrega que los cambios en el medio natural están temporalmente relacionados con la revolución industrial, la cual no solo transformó la materia, sino también el medio ambiente. Esta revolución contribuyó al dominio de la naturaleza y, de ese modo, a medida que aumentaron las necesidades energéticas, los problemas ambientales se intensificaron (Henry y Heinke, 1999).

Es sabido, entonces, que los problemas ambientales implican la interacción de varios sistemas. En ese sentido, la contaminación de los recursos hídricos es consecuencia de la descarga de aguas de fuentes puntuales y no puntuales. Por ese motivo, es necesario identificar la fuente para controlar la alteración sobre el medio acuático (Henry y Heinke, 1999).

2.3. Marco conceptual o glosario

A continuación, se presentan los principales conceptos que son empleados en el presente trabajo de tesis.

Absorción: Proceso por el cual una sustancia tóxica atraviesa las membranas de las células de un organismo a través de la piel, los pulmones, el tracto digestivo o las branquias, y luego es transportada hacia otros órganos (Ministerio del Ambiente, 2013a).

Abundancia: Número total de individuos de una especie o tipo, presentes en un área determinada (Lawrence, 2003).

Adaptación ante el cambio climático: Ajuste que se realiza, en los sistemas naturales o en las sociedades humanas, como respuesta a estímulos climáticos, para moderar daños o explorar oportunidades beneficiosas (López Trigo, 2015).

Afectado: Persona, animal, territorio o infraestructura que sufre perturbación en su ambiente por efectos de un fenómeno. Puede requerir de apoyo inmediato para eliminar o reducir las causas de la perturbación para la continuación de la actividad normal (Ministerio del Ambiente, 2010).

Agente: Cualquier entidad biológica, química o física, que puede producir un efecto adverso (Ministerio del Ambiente, 2013a).

Agua potable: Agua para uso y consumo humano, libre de contaminantes objetables, ya sean químicos o agentes infecciosos, que no causa efectos nocivos para la salud (Ministerio del Ambiente, 2010).

Agua superficial: Agua del interior de los continentes que circula por la parte de las tierras, como el agua que fluye en las corrientes, o que se encuentra retenida en los lagos, las marinas o los terrenos pantanosos (Strahler y Strahler, 1994).

Aguas residuales: Aquellas cuyas características originales han sido modificadas por actividades antropogénicas, que tienen que ser vertidas a un cuerpo natural de agua o reusadas, y que por sus características de calidad requieren de un tratamiento previo (Decreto Supremo n.º 001-2010-AG, que aprueba el Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos, Ley n.º 29338, artículo 131.º).

Ambiente: Hábitat físico y biótico que nos rodea; lo que podemos ver, oír, tocar, oler y saborear (Henry y Heinke, 1999).

Ambientes acuáticos: Ambientes localizados en cuerpos de agua, como ríos, arroyos, lagos, lagunas, esteros y canales (Ministerio del Ambiente, 2013a).

Área de influencia en un proyecto de inversión: Espacio geográfico sobre el cual las actividades y componentes de un proyecto ejercen algún tipo de impacto ambiental y social. Esta área se define con base en los potenciales impactos del proyecto y, en función de ello, se diseñan las principales medidas del plan de manejo ambiental, cuyo objetivo es minimizar, corregir, mitigar y compensar los efectos en el medioambiente (Servicio Nacional de Certificación Ambiental para las Inversiones Sostenibles, 2019).

Bioacumulación: Concentración resultante, acumulada en el ambiente o en los tejidos de organismos, a partir de la incorporación, distribución y eliminación de contaminantes obtenidos en las rutas de exposición, por ejemplo, por aire, agua, suelo, sedimento y alimento (Ministerio del Ambiente, 2013a).

Biodiversidad biológica: Según la Convención de las Naciones Unidas, refiere a la variabilidad de distintos seres vivos (Lawrence, 2003).

Cadena de custodia: Procedimiento documentado de obtención, transporte, conservación y entrega de muestras al laboratorio para la realización de pruebas de análisis fisicoquímico, realizado por el personal responsable (Ministerio del Ambiente, 2013a).

Calidad de suelos: Capacidad natural del suelo de cumplir funciones ecológicas, agronómicas, económicas, culturales, arqueológicas y recreacionales. Se trata del estado del suelo en función de sus características físicas, químicas y biológicas, que le otorgan una capacidad para sustentar un potencial ecosistémico natural y antropogénico (Ministerio del Ambiente, 2013a).

Caracterización de sitios contaminados: Determinación cualitativa y cuantitativa de los contaminantes químicos o biológicos presentes, provenientes de materiales o residuos

peligrosos, para estimar la magnitud y el tipo de riesgos que conlleva dicha contaminación (Ministerio del Ambiente, 2013a).

Ciclo sedimentario: Tipo de ciclo de la materia en el que los compuestos o elementos son liberados de la roca por meteorización y, luego, desplazados en el agua corriente, tanto por disolución como en forma de sedimento, hasta alcanzar el mar (Strahler y Strahler, 1994).

Componente ecológico: Cualquier parte del sistema ecológico, lo que incluye a individuos, poblaciones, comunidades, sus interacciones, sus relaciones e incluso al mismo ecosistema (Ministerio del Ambiente, 2013a).

Comunidad: Grupo de poblaciones de diferentes especies que interactúan entre sí y habitan una misma área (Ministerio del Ambiente, 2013a).

Concentración: Relación de una sustancia disuelta o contenida en una cantidad dada de otra sustancia (Ministerio del Ambiente, 2013a).

Contaminación: Cambio indeseable en las características físicas, químicas o biológicas del aire, el agua o el suelo, que puede afectar la salud, la supervivencia o las actividades humanas o de otros organismos vivos (Henry y Heinke, 1999).

Contaminante crítico: Aquellos de los cuales se tienen evidencia o sospecha que ocasionan daño o riesgo de daño (Ministerio del Ambiente, 2010).

Cuenca de drenaje: Conjunto del área ocupada por un sistema de drenaje y cuyos límites los constituyen la divisoria de las aguas (Strahler y Strahler, 1994).

Degradación: Proceso de descomposición de la materia realizado por medios físicos, químicos o biológicos (Ministerio del Ambiente, 2013a).

Diversidad biológica: Variabilidad de organismos vivos de cualquier fuente, incluidos los ecosistemas terrestres y marinos y otros ecosistemas acuáticos, así como los complejos ecológicos de los que forman parte. Comprende la diversidad dentro de cada especie, entre las especies y de los ecosistemas (Ministerio del Ambiente, 2013a).

Ecosistemas acuáticos: Ecosistemas compuestos por las formas biológicas de los medios marinos y de las aguas dulces en el interior de los continentes (Strahler y Strahler, 1994).

Ecosistemas frágiles: Ecosistemas con características y recursos singulares, incluyendo sus condiciones climáticas importantes y sus posibles desastres naturales. Se trata de ecosistemas en peligro de que sus poblaciones naturales, su diversidad o sus condiciones de estabilidad disminuyan excesivamente o desaparezcan, a causa de factores exógenos. Comprenden, entre otros, desiertos, tierras semiáridas, montañas, pantanos, bofedales, bahías, islas pequeñas, humedales, lagunas altoandinas, lomas costeras, bosques de neblina y bosques relictos (Ministerio del Ambiente, 2013a).

Efecto: Consecuencia por virtud de una causa (Ministerio del Ambiente, 2013a).

Efluente: Material de desecho descargado al ambiente, tratado o sin tratar. Alude generalmente a la contaminación del agua, pero puede utilizarse también para las emisiones de chimeneas u otros materiales de desechos que entran en el ambiente (Ministerio del Ambiente, 2010).

Erosión fluvial: Remoción progresiva de las partículas minerales del suelo o de los márgenes del cauce de un río, causada por la fuerza del agua en movimiento, por abrasión o por reacción química con los iones del agua (Strahler y Strahler, 1994).

Factores de perturbación: Contaminantes químicos, como metales pesados y biocidas, que, además de producir riesgo para la salud de los habitantes, afectan los ecosistemas al producir eutrofización (Escobar, 2002).

Límite máximo permisible: Valores máximos admisibles de los parámetros representativos de la calidad del agua (Ministerio de Salud, 2011).

Lixiviado: Líquido que se forma por la reacción, arrastre o filtrado de los materiales que constituyen los residuos. Contiene, en forma disuelta o en suspensión, sustancias que pueden infiltrarse en los suelos o escurrirse fuera de los sitios en los que se depositan los residuos, con las que puede dar lugar a la contaminación del suelo y de cuerpos de agua. De ese modo, puede provocar su deterioro y representar un riesgo potencial a la salud humana y de los demás organismos vivos (Decreto Supremo n.º 048-2011-PCM, que aprueba el Reglamento de la Ley n.º 29664, que crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres).

Macroinvertebrados bentónicos: Organismos acuáticos que viven en el fondo de los cuerpos de agua o enterrados en él, conocidos como bentos (Roldán Pérez, 1996). Se refiere a los invertebrados que habitan los ambientes acuáticos, de tamaño menor a 1 mm, los cuales son retenidos en un tamiz de 500 µm, que pueden habitar fondos duros o blandos, o ser enterrados en él (Quipuzcoa Olguín *et al.*, 2019).

Materia orgánica: Material de origen terrestre o marino, conformado por fragmentos o restos fácilmente reconocibles de plantas o animales, introducidos a los cuerpos de agua, los cuales derivan de cadenas alimentarias (Quipuzcoa Olguín *et al.*, 2019).

Materiales y residuos peligrosos: Aquellos que, por sus características fisicoquímicas o biológicas, o por el manejo al que son o van a ser sometidos, pueden generar o desprender polvos, humos, gases, líquidos, vapores o fibras infecciosas, irritantes,

inflamables, explosivos, corrosivos, asfixiantes, tóxicos o de otra naturaleza peligrosa, así como radiaciones ionizantes en cantidades que representan un riesgo significativo para la salud, el ambiente o la propiedad (Decreto Supremo n.º 048-2011-PCM, que aprueba el Reglamento de la Ley n.º 29664, que crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres).

Mecanismo de transporte: Proceso físico mediante el cual los contaminantes migran hacia un ambiente y de él hacia otro medio (Ministerio del Ambiente, 2013a).

Medios ambientales: Cualquier elemento natural (suelo, agua, aire, plantas, animales o cualquier otra parte del ambiente) que participa en los flujos de materia y energía en el sistema y que puede contener contaminantes (Ministerio del Ambiente, 2013a).

Metales pesados: Grupo de minerales con una densidad excepcionalmente elevada, generalmente 4 g/cc o más, que suelen encontrarse en los sedimentos clásticos depositados bajo el agua (Strahler y Strahler, 1994).

Monitoreo: Proceso de observación y seguimiento, ya sea por medio de instrumentos o visualmente, del desarrollo y las variaciones de un fenómeno que podría generar un desastre (Ministerio del Ambiente, 2010).

Muestra simple o puntual: Denominada también como muestra discreta, consiste en la toma de una porción de agua en un punto o lugar determinado para su análisis individual. Evidencia las condiciones y características de la composición original del cuerpo de agua para el lugar, el tiempo y las circunstancias particulares, en el instante en el que se realizó su recolección (Resolución Jefatural n.º 010-2016-ANA, que aprueba el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales).

pH: Medida de la concentración del ion hidrógeno en una solución. El número obtenido representa el logaritmo en base 10 del inverso del peso en gramos de iones de hidrógeno por litro del agua (Strahler y Strahler, 1994).

Plan de muestreo: Documento que contiene la información y programación relacionada con cada una de las etapas que conforman el muestreo, y señala los criterios para la toma de muestras (Ministerio del Ambiente, 2013a).

Predominante: Especie que se encuentra en la mayoría de las asociaciones de un determinado tipo (Lawrence, 2003).

Producción sedimentaria: Cantidad de sedimento arrastrada por las aguas de arroyada en una unidad de superficie y un periodo de tiempo determinados (Strahler y Strahler, 1994).

Punto de muestreo: Lugar, punto o área determinada del suelo donde se toman las muestras, sean superficiales o de profundidad (Ministerio del Ambiente, 2013a).

Receptor: Organismo, población o comunidad que está expuesta a contaminantes (Ministerio del Ambiente, 2013a).

Relación causa-efecto: Relación entre la cantidad de un agente administrado, incorporado o absorbido por un organismo, población o ecosistema, y el cambio desarrollado en tal organismo, población o ecosistema a causa del agente (Ministerio del Ambiente, 2013a).

Sedimentos: Materiales de depósito o acumulados por el arrastre mecánico de las aguas superficiales o el viento, depositados en los fondos marinos, fluviales y lacustres, así como en las depresiones continentales (Ministerio del Ambiente, 2013a).

Sistema: Conjunto o arreglo de cosas relacionadas o conectadas que forman una unidad o un todo orgánico; por ejemplo, el sistema solar, un sistema de irrigación, etc. (Henry y Heinke, 1999).

Sitio contaminado: Suelo cuyas características químicas han sido alteradas negativamente por la presencia de sustancias químicas contaminantes, depositadas por la actividad humana en concentraciones tales que representan un riesgo a la salud humana o al medio ambiente (Ministerio del Ambiente, 2013a).

Suelo: Material no consolidado compuesto por partículas inorgánicas, materia orgánica, agua, aire y organismos. Comprende desde la capa superior de la superficie terrestre hasta diferentes niveles de profundidad (Decreto Supremo n.º 011-2017-MINAM, que aprueba Estándares de Calidad Ambiental para Suelo).

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

- La presencia de los metales pesados determinados en los niveles de concentraciones, así como la distribución en niveles de abundancia de los macroinvertebrados bentónicos, varían en relación con la ubicación de las actividades antrópicas, como respuesta a las distintas presiones antropogénicas que se desarrollan en la parte media de la cuenca del río Santa.

2.4.2. Hipótesis específicas

- Los niveles de concentración de los metales pesados en sedimentos, así como la diversidad y abundancia de los macroinvertebrados bentónicos, varían

significativamente, según cada una de las cuatro estaciones de muestreo de la parte media de la cuenca del río Santa.

- Según cada estación de muestreo, existe una mayor relación entre los organismos bentónicos con los metales pesados que obtuvieron una mayor concentración.
- Las diversas actividades antrópicas que se localizan cerca de cada estación de muestreo determinan los niveles de concentración de los metales pesados, así como la abundancia y diversidad de los macroinvertebrados bentónicos.

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

La presente investigación es de tipo aplicada, el cual fortalece el conocimiento y permite identificar los problemas asociados a la variación de los contaminantes por metales pesados y su relación con organismos bentónicos en los cuerpos lóticos. Asimismo, es de nivel no experimental, porque no manipula ninguna de las variables.

El diseño de la presente investigación sigue una metodología descriptiva de corte longitudinal. Esta analiza la variación espaciotemporal de las concentraciones de los metales pesados en cuatro estaciones de muestreo, que fueron comparados con los resultados obtenidos en los estudios realizados por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) en 2013 y 2014 (muestras de sedimentos). Con este muestreo, realizado por el autor de la investigación en 2019, se determinaron las variaciones de concentración de los agentes tóxicos.

Respecto a los organismos bentónicos registrados en la presente investigación, estos no pudieron ser contrastados con otros datos, debido a que en la zona de estudio no se han realizado trabajos similares. Sin embargo, se tomó como referencia investigaciones desarrolladas en otras latitudes, en las que el mayor número de organismos está asociado a la perturbación. Por último, la identificación y la descripción de las actividades antrópicas desarrolladas en el ámbito de cada una de las estaciones de muestreo permitieron entender mejor las diferentes presiones a las que estas fueron sometidas.

TABLA 2. Matriz de operacionalización de las variables

Dimensión	Variable	Indicador	Unidad de medida	Fuente/instrumento
Composición de los sedimentos	Metales pesados en sedimentos	Concentración de metales pesados en muestras de sedimento, según los niveles de detección del equipo de ACP	mg/kg	Espectrometría de masas con plasma inducido en el equipo Nexion 350X Perkin Elmer
		Mercurio	mg/kg	Analizador directo de mercurio (DMA-80 Tri Cell MILESTONE)
	Carbonato total	Contenido total de carbonatos	%	Pérdida de peso por ignición (Dean, 1974)
Composición de las aguas	Parámetros físicoquímicos	pH	unidades	Mediciones <i>in situ</i> con Multiparámetro WTW
		OD	mg/L	
		Temperatura	°C	
Macroinvertebrados bentónicos	Presencia de familia	Tipo de familia	Determinación en laboratorio	
	Número de especímenes por familia	Cantidad de especímenes por familia		
Tipos de presiones antrópicas	Usos/actividades antrópicas	Uso urbano	Número de habitantes	INEI
		Uso agrícola	Área de cultivos	Ministerio del Ambiente (Mapa de ecosistemas-2018) Reconocimiento de campo
		Acuicultura	Números de concesiones otorgadas para la crianza de truchas	Ministerio de la Producción
		Minería	Número de concesiones otorgadas para la actividad minera	GEOCATMIN
		Pasivos mineros	Número de pasivos ambientales	
	Geología	Composición geológica		

TABLA 3. Matriz de consistencia

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES	INDICADORES	METODOLOGÍA
<p>¿En qué medida el comportamiento de los metales pesados en los sedimentos, así como la abundancia y diversidad de los macroinvertebrados bentónicos, podrían responder a las diversas presiones antrópicas que se desarrollan en el ámbito de la zona de estudio?</p>	<p>Evaluar el comportamiento de las concentraciones de metales pesados en sedimentos y de macroinvertebrados bentónicos, como indicadores de calidad ambiental, ante las distintas presiones antrópicas que se desarrollan en la parte media de la cuenca del río Santa.</p>	<p>La presencia de los metales pesados determinados en los niveles de concentraciones, así como la distribución en niveles de abundancia de los macroinvertebrados bentónicos, varían en relación con la ubicación de las actividades antrópicas, como respuesta a las distintas presiones antropogénicas que se desarrollan en la parte media de la cuenca del río Santa.</p>	<p>VARIABLES independientes (CAUSA): Variación de las concentraciones de metales pesados y variación en los niveles de concentración de los macroinvertebrados bentónicos.</p> <p>VARIABLES dependientes (EFECTO): Temporalidad de los resultados en los muestreos de los años 2013, 2014 y 2019.</p>	<p>(a) Variación fisicoquímica del agua superficial, en cada una de las estaciones de muestreo (pH, temperatura y oxígeno disuelto), que fue comparada con los ECA 2017.</p> <p>(b) Variación de los niveles de concentración de metales pesados en muestras de sedimentos, según cada estación muestreada; asimismo, comparación de cada metal pesado por estación de muestreo según los estudios de la ANA.</p> <p>(c) Variación de especies de macroinvertebrados bentónicos, por cada estación de muestreo; asimismo, análisis comparativo según organismos más abundantes por estación muestreada.</p>	<p>(a) Recopilación y análisis de información secundaria, obtenida de estudios en la cuenca, así como otros estudios que fortalecen el trabajo de investigación.</p> <p>(b) Obtención de información primaria obtenida en trabajo de campo, muestreo <i>in situ</i> de componentes (agua, sedimento y organismos bentónicos) de la cuenca, siguiendo protocolos de colecta y traslado. La medición del pH, oxígeno disuelto y temperatura del agua se obtuvo en campo.</p> <p>(c) Análisis de los resultados de las muestras de sedimentos y organismos bentónicos (fueron analizados en laboratorios del Imarpe, por</p>
<p>¿En qué medida difieren los niveles de concentración de los metales pesados en los sedimentos y la abundancia y diversidad de los macroinvertebrados bentónicos, según cada una de las estaciones muestreadas, en la cuenca media del río Santa?</p>	<p>Determinar los diferentes niveles de concentración de los metales pesados en el sedimento, así como la diversidad y abundancia de los macroinvertebrados bentónicos, en las estaciones de muestreo colectados de la parte media de la cuenca del río Santa.</p>	<p>Los niveles de concentración de los metales pesados en sedimentos, así como la diversidad y abundancia de los macroinvertebrados bentónicos, varían significativamente, según cada una de las cuatro estaciones de muestreo de la parte media de la cuenca del río Santa.</p>	<p>HIPÓTESIS NULA Todas las medidas de los metales pesados por cada estación son iguales en el tiempo.</p> <p>HIPÓTESIS ALTERNA No todas las medidas de los metales pesados son iguales.</p>		

<p>¿Cuál es la relación que podrían tener los niveles de concentración de metales pesados y la abundancia y diversidad de los macroinvertebrados bentónicos, según cada estación de muestreo?</p>	<p>Identificar la relación entre las mayores concentraciones de metales pesados y los macroinvertebrados bentónicos, según cada una de las estaciones de muestreo.</p>	<p>Según cada estación de muestreo, existe una mayor relación entre los organismos bentónicos con los metales pesados que obtuvieron una mayor concentración.</p>	<p>profesionales expertos).</p> <p>(d) Interpretación y procesamiento de los resultados obtenidos, y elaboración de análisis comparativo utilizando información secundaria.</p>
<p>¿Cuáles son las principales actividades antrópicas que podrían incidir sobre el comportamiento de los niveles de concentración de los metales pesados en el sedimento, así como la abundancia y diversidad de los macroinvertebrados bentónicos, en la zona de estudio?</p>	<p>Identificar y caracterizar las diversas actividades socioeconómicas que se desarrollan en el entorno de cada una de las estaciones de muestreo.</p>	<p>Las diversas actividades antrópicas que se localizan cerca de cada estación de muestreo determinan los niveles de concentración de los metales pesados, así como la abundancia y diversidad de los macroinvertebrados bentónicos.</p>	<p>(e) Elaboración del informe final de tesis, e interpretación de resultados según las hipótesis planteadas y las recomendaciones en el marco de la investigación.</p>

Elaboración propia.

3.1.1. Etapas de la investigación

La presente investigación se desarrolló en tres etapas que se describen a continuación:

- Etapa de precampo
- Etapa de trabajo de campo
- Etapa de poscampo o procesamiento de información

3.1.1.1. Etapa de precampo

En la etapa de precampo, se definió el ámbito de trabajo, teniendo como referencia los niveles de la cuenca hidrográfica señalados por Ordoñez Gálvez (2011), quien determina que la “cuenca media” es el lugar donde se juntan las aguas recogidas y donde el río principal

tiene un cauce fijo. Asimismo, en esta etapa se realizaron trabajos de gabinete con la búsqueda de estudios anteriores relacionados a la calidad ambiental de la cuenca del río Santa. Esta investigación, tomó como referencia principal los estudios realizados por la ANA en los periodos 2013 y 2014, en los cuales se identificaron y determinaron las calidades de agua y los sedimentos, en estaciones fijas colocadas desde la naciente hasta su desembocadura.

3.1.1.2. Etapa de trabajo de campo

En esta segunda etapa, se realizó *in situ* un reconocimiento general del área de estudio, así como la toma y colecta en campo de muestras de agua, sedimentos y organismos bentónicos, en cuatro estaciones principales y cuatro estaciones secundarias, cada una con su respectiva réplica (ver Tabla 4 y Figura 6).

Estas actividades de muestreo fueron llevadas a cabo en el mes de junio del 2019. El ingreso hacia el valle del río Santa fue por la laguna Conococha, por lo que la primera muestra fue tomada en la estación Rnegr y A-Rnegr. Posteriormente, con dirección hacia la cuenca baja, se fueron tomando las demás estaciones Rsant6 y A-Rsant6, Rsant7 y A-Rsant7, y Rsant8 y A-Rsant8, respectivamente.

Para georreferenciar las estaciones de muestreo, se utilizó un GPS de marca Garmin modelo Montana 680 y se trabajaron las coordenadas geográficas con el DATUM WGS1984, 18S.

TABLA 4. Ubicación de las estaciones de muestreo

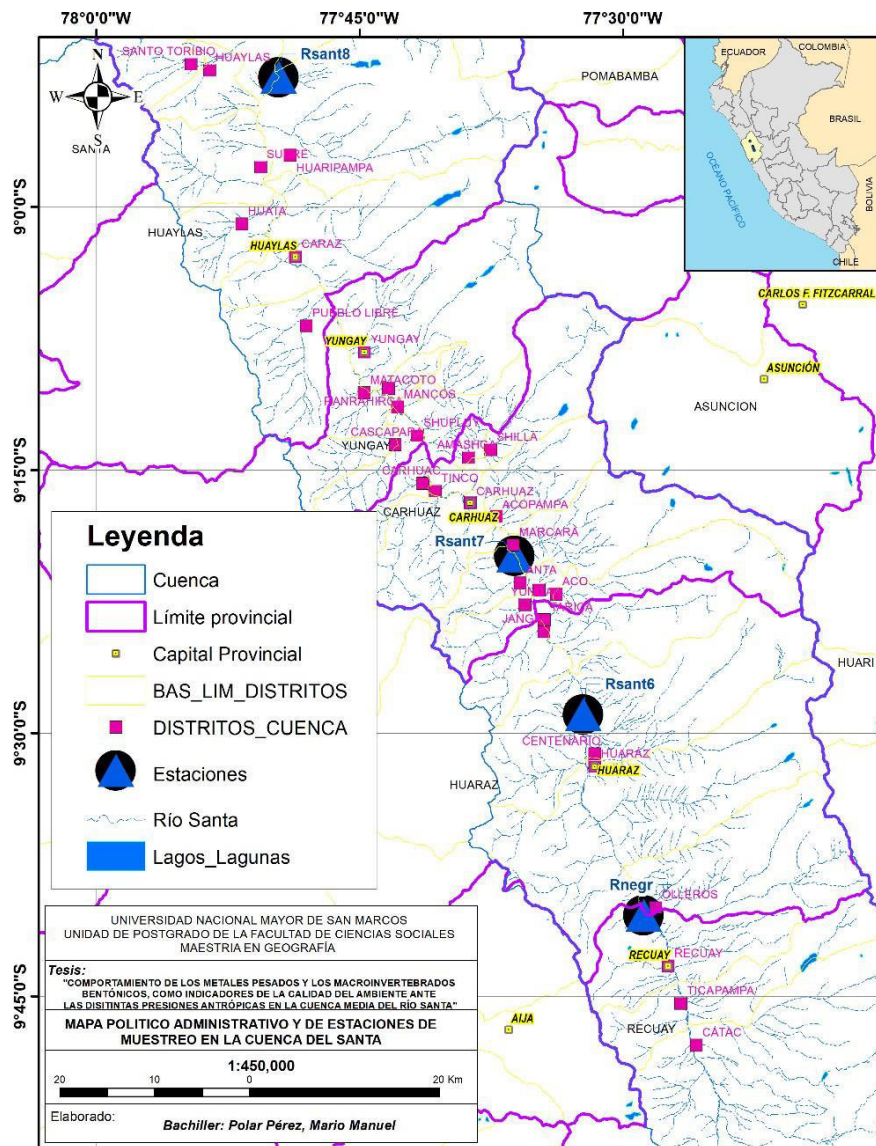
Nombre de estación de muestreo ANA	Código	Coordenadas geográficas		Distancia metros
		X	Y	
		-9,672148*	-77,478337*	
Rnegr	Rnegr	-9,672666	-77,48058	252,9
	A-Rnegr**	-9,671763	-77,480157	110,2
	Rsant6	-9,482148	-77,537897	0
Rsant6	A-Rsant6**	-9,48116	-77,537764	110,3
	Rsant7	-9,3313	-77,60321	0
Rsant7	A-Rsant7**	-9,33032	-77,603574	115,6
	Rsant8	-8,877016	-77,827045	0
Rsant8	A-Rsant8**	-8,875736	-77,827428	148,5

Elaboración propia.

* La ANA, en los años 2013 y 2014, recogió las muestras de la estación Rnegr en el río Negro, que es un tributario del río Santa. El presente estudio tomó la muestra en el mismo río Santa y lo denominó de la misma manera (Rnegr). La distancia entre la estación original (tomado por la ANA) y la nueva fue de 252,9 m. La segunda estación o estación de control (A-Rnegr) se tomó a 110,2 m de la (nueva) estación de muestreo. Asimismo, las estaciones Rsant6, Rsant7 y Rsant8 fueron colectadas en los mismos lugares que la ANA seleccionó en los años anteriores.

** A las estaciones de control se les antepone la letra “A” respecto del nombre de la estación original. Estas fueron colectadas para fortalecer las variables de la presente investigación, y variaron de 110,2 a 148,5 m en relación con las estaciones originales. El promedio de lejanía de la primera estación a la nueva es de 121,5 m.

FIGURA 4. Mapa político administrativo de la cuenca del río Santa, las capitales provinciales

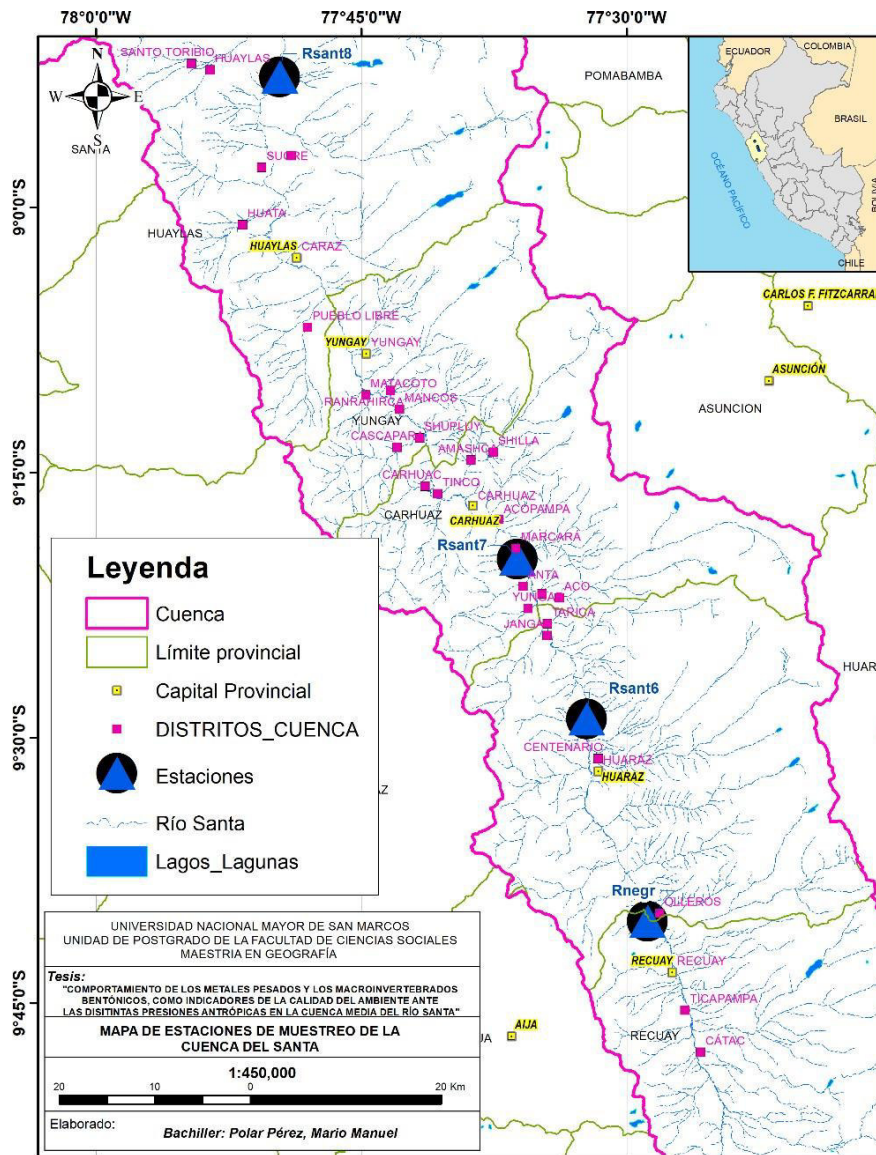


Elaboración propia.

El mapa de la Figura 4 muestra las principales capitales de las provincias y distritos que se ubican al interior de la cuenca del río Santa. Asimismo, permite apreciar que los límites políticos administrativos sobrepasan de manera transversal los límites naturales de la cuenca hidrográfica. Debido a ello, el presente trabajo de investigación solo toma como

referencia la cuenca hidrográfica como unidad geográfica, mas no como unidad político-administrativa. Por otro lado, también se observan las ocho estaciones de muestreo.

FIGURA 5. Mapa de estaciones de muestreo en la cuenca hidrográfica del río Santa



Elaboración propia.

3.1.1.2.1. Muestreo in situ de aguas superficiales para la determinación de parámetros fisicoquímicos

Para la colecta de muestras de aguas superficiales, se siguió el *Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales* de la ANA (2016b). Asimismo, en cada estación muestreada, se determinaron *in situ* los valores del pH, la temperatura y el oxígeno disuelto en muestras de agua superficial. Dichas mediciones se realizaron mediante un multiparámetro portátil de la marca WTW (ver Figura 6c).

3.1.1.2.2. Muestreo de macroinvertebrados bentónicos

Para la colecta de muestras de macroinvertebrados bentónicos, se utilizó el protocolo de *Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas* del MINAM (2014). En efecto, esta toma de muestras se realizó en el fondo del lecho del río, mediante una red Surber de 500 μm . Dichas muestras fueron preservadas adecuadamente en un recipiente de plástico con alcohol al 70 %. Cada estación muestreada tuvo una réplica (ver Figuras 6a y 6b). Asimismo, se tomó como referencia el *Manual de monitoreo. Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua*, descrito por Carrera Reyes y Fierro Peralbo (2001).

3.1.1.2.3. Muestreo de sedimentos para la determinación de metales pesados y materia orgánica total

Las muestras de sedimentos del fondo del cuerpo de agua sirvieron para determinar los niveles de concentración de los metales pesados y el porcentaje de materia orgánica total. Todas las muestras fueron colectadas en los bordes del lecho del río; para ello, se utilizó una paleta de plástico y una bolsa debidamente rotulada, mismo procedimiento que se utilizó para las réplicas. Cada muestra colectada se guardó en un *cooler* de plástico a una temperatura de 7 °C, a fin de preservar las muestras hasta el traslado al laboratorio.

Al término de la etapa de campo, se realizó el traslado de las muestras colectadas para sus respectivos análisis en los laboratorios del Imarpe. Además, se tuvo una cadena de custodia que permitió la simplificación de los datos tomados en campo. Esta contiene la denominación de las estaciones de muestreo, la latitud y longitud, los resultados de las variables fisicoquímicas por cada estación de muestreo (ver Anexo 1).

FIGURA 6. Imágenes de la colecta de las muestras en campo



Colecta de muestras en campo siguiendo los protocolos de muestreo de agua, sedimento y organismos bentónicos, así como la custodia de las muestras. Las fotografías (a) y (b) muestran la colecta de macroinvertebrados bentónicos (imagen de la red Surber); la (c), la determinación de pH, oxígeno disuelto y temperatura *in situ*, mediante sonda Multiparámetro TWT, y la (d), la preservación de las muestras en un cooler con hielo, para su posterior traslado al laboratorio.

3.1.1.3. Etapa de poscampo o procesamiento de la información colectada y análisis comparativo con otros estudios

En esta etapa de trabajo, las muestras de metales pesados, materia orgánica total fueron analizados por los Laboratorios de Contaminación Química y el Laboratorio Continental de Puno del Instituto del Mar del Perú.

Para la determinación de los metales pesados en las muestras de sedimentos, se utilizó la técnica de espectrometría de masas con plasma inducido, los cuales fueron determinados mediante el equipo Nexion 350X Perkin Elmer. El mercurio total en sedimento se analizó con un analizador directo de mercurio DMA-80 Tri Cell MILESTONE. Las muestras de materia orgánica total y carbonatos se analizaron siguiendo el método de pérdida de peso por ignición, según Dean (1974).

Las muestras de macroinvertebrados bentónicos fueron analizados por un biólogo especialista en la materia. Dicho profesional utilizó la técnica de conteo y siguió las metodologías del Standard Method: SM10500 C. Benthic Macroinvertebrates Sample Processing and Analysis 2012. Asimismo, los organismos bentónicos se analizaron tomando en cuenta el *phylum*, la clase, el orden, la familia e incluso el número de especies (por individuos), en cada estación muestreada. Respecto al análisis de este componente, a la estación Rnegr se le denominó E9; mientras que las demás estaciones presentan el número según su estación, la letra A (en cada estación) corresponde a la réplica.

Los resultados del muestreo de agua, según sus variables fisicoquímicas, fueron comparados con los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, aprobados por el Decreto Supremo n.º 004-2017-MINAM. Para ello, se utilizaron las siguientes categorías: 1. Poblacional y recreacional (A2: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional), 3. Riego de vegetales y bebida de animales (D1: Riego de vegetales

restringido y no restringido) y 4. Conservación del ambiente acuático (E2: Ríos de la costa y sierra). Las categorías identificadas tienen relación con las actividades que se desarrollan en todo el ámbito de estudio.

De otro lado, los Estándares de Calidad Ambiental para Suelo, aprobados por el Decreto Supremo n.º 011-2017-MINAM, están categorizados solo para los siguientes usos: suelo agrícola, suelo residencial/parques y suelo comercial/industrial/extractivo.

Cabe resaltar que en el país no existe un estándar ambiental para los sedimentos de los fondos de los cuerpos de agua principalmente en “metales pesados”. Por esa razón, dichos resultados fueron comparados con los estándares de calidad ambiental canadiense (CEQG 2011): “Directrices para la protección de la vida acuática (calidad ambiental de los sedimentos)”, publicadas por el Consejo de Ministros Canadiense de Medioambiente (CCME), estos mismos fueron utilizados por la ANA en los estudios de los años 2013 y 2014.

Por su parte, para caracterizar a los principales organismos bentónicos en cada estación de muestreo, se consultó la *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia* de Roldán Pérez (1996). Esta guía relaciona el estado ecológico de las especies registradas (que tienen predominio), las cuales se convierten en indicadores biológicos.

Para el análisis estadístico que determina la relación de los metales pesados y los macroinvertebrados bentónicos, se utilizó el programa PimerV6 Permanova y el *software* IBM SPSS Statistics 21. Por otro lado, para la comparación de la variación de los metales pesados por estación y en el tiempo, se utilizó el programa Minitab en la variable Anova.

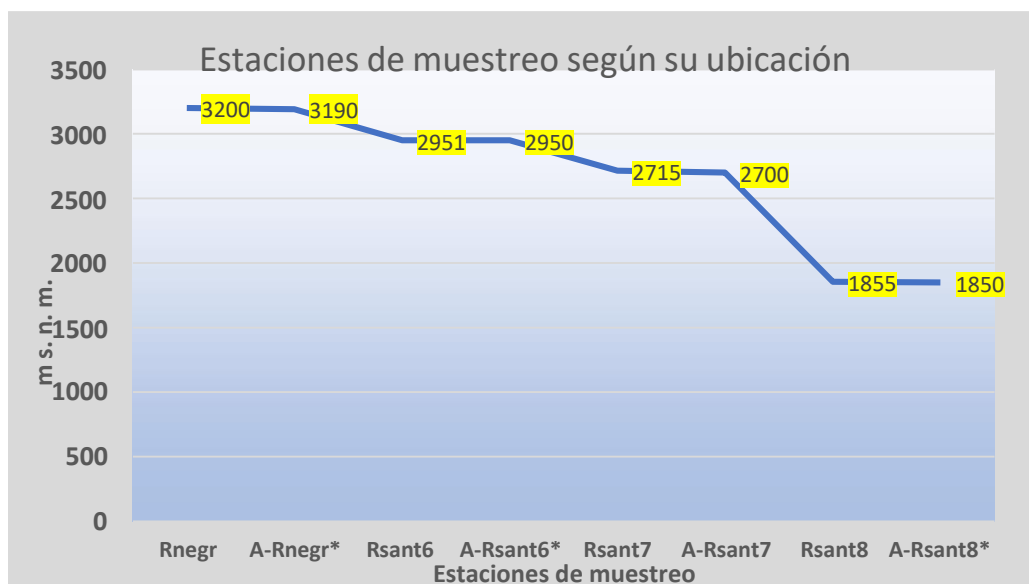
Se realizó el mapeo que permitió identificar la distribución de las estaciones de muestreo, así como la distribución y ubicación de la población, las concesiones acuícolas,

la distribución de la minería, los pasivos ambientales, la red hídrica, entre otros componentes espaciales; para todo lo cual se utilizó el ArcGIS. Posteriormente, se corroboraron las estaciones y los usos mediante el Basemap ArcMap (ArcGIS), que es una plataforma ubicada al interior del sistema utilizado, cuyos datos provienen del satélite IKONOS, con resolución espacial de 1 m.

3.2. Unidad de análisis

En la Figura 4, se mostró el mapa político administrativo donde se identifican las provincias Recuay, Huaraz, Carhuaz, Yungay y Huaylas, en las cuales se ubicaron las estaciones de muestreo para la presente investigación. Entretanto, en la Figura 7 se puede apreciar un perfil altitudinal del tramo de la cuenca en relación a las estaciones de muestreo.

FIGURA 7. Distribución de las estaciones de muestreo según su altitud



Las estaciones de muestreo se ubicaron entre los 3200 y los 1850 m s. n. m. De ellas, la estación Rnegr fue la que tuvo mayor altitud, mientras que la más baja (altitudinal) fue la estación A-Rsant8.

3.3. Población y muestra

La población objetivo de esta investigación se encuentra constituida por aguas superficiales, los sedimentos del fondo (del cuerpo de aguas), y por organismos bentónicos. Las muestras fueron colectadas en cuatro estaciones de muestreo durante la temporada de estiaje (julio 2019), el ámbito de estudio corresponde a la cuenca media del río Santa.

De las estaciones muestreadas se compararon (principalmente los metales pesados), con los resultados de los muestreos de la ANA en los periodos 2013 y 2014.

3.4. Características del área de estudio

A continuación, se presentan las principales características físico-geográficas y socioeconómicas del área de estudio, las que podrían tener mayor relación con la naturaleza de la calidad del agua, los sedimentos y los organismos bentónicos (calidad ambiental) en la zona de estudio.

3.4.1. Características físico-geográficas

3.4.1.1. Geología

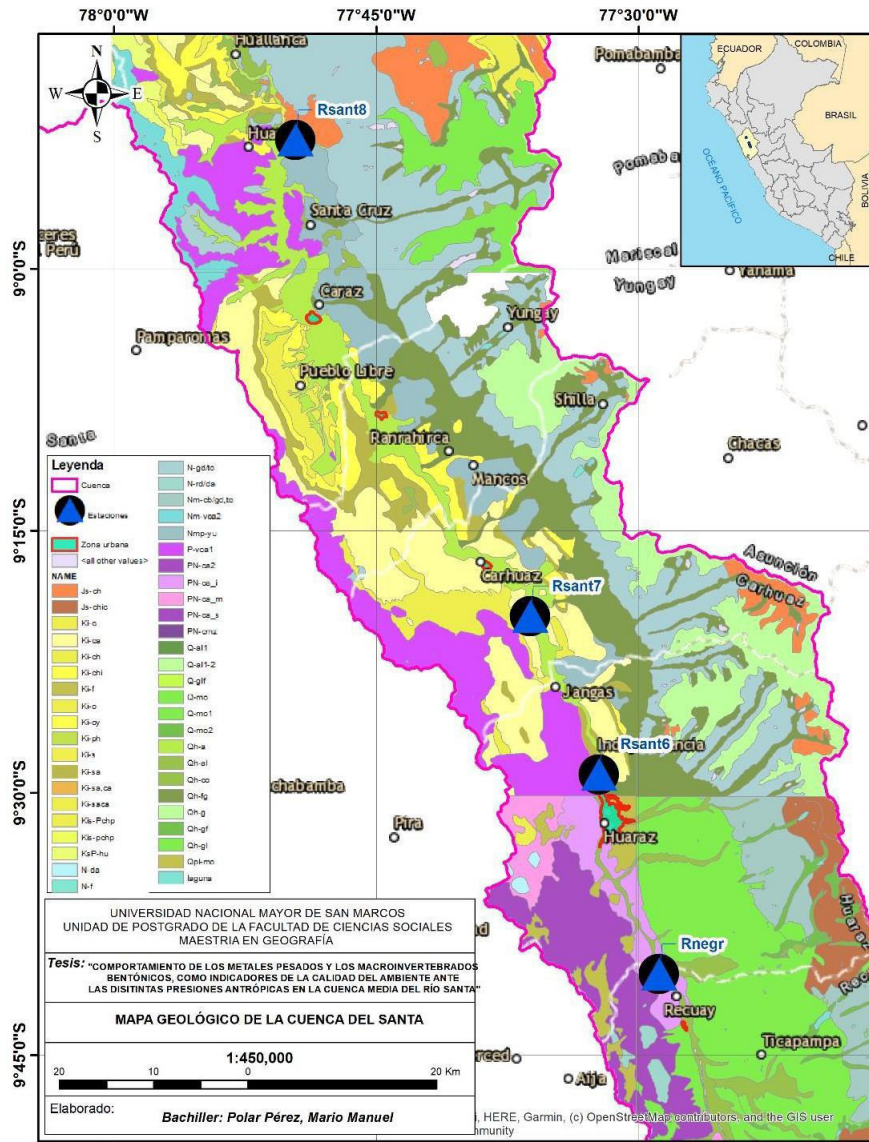
El componente geológico de la cuenca hidrográfica del Santa, es un aspecto crucial, debido a que sirve de plataforma y escenario para el desarrollo de una serie de actividades antrópicas, una de ellas es la minería (a gran escala, artesanal e informal) de ellas derivan los pasivos ambientales. Dichas actividades han estado físicamente asentadas, desde hace muchos años atrás, y localizadas de manera adyacente a la red hídrica (Ministerio de Energía y Minas, 1998b).

La geología de la cuenca, está comprendida por una continuación de rocas intrusivas volcánicas y sedimentarias, las cuales tiene su origen en el periodo entre el Jurásico Superior y el Cuaternario reciente. El componente de rocas intrusivas o volcánicas está constituido

por andesitas piroclásticas y brechas de color gris verdoso, de textura porfirítica, que conforman terrenos aceptables para la construcción de obras de ingeniería. Asimismo, los depósitos sedimentarios comprenden unidades viejas de la edad Jurásico Superior, Cretácico Inferior y Cretácico Superior. Las rocas jurásicas, representadas por lutitas de color negro, gris verdoso y rojizo, son algunas veces carbonosas (pertenecientes al grupo Chicama) y en algunos sectores se hallan intercaladas con horizontes delgados de cuarcitas grises blanquecinas. Las rocas intrusivas forman parte del batolito andino y su afloramiento tiene gran aptitud de distribución.

Galán Huertos y Romero Baena (2008) mencionan que la presencia de metales pesados en los suelos, en sus diferentes niveles de concentración, puede ser de origen orogénico (proveniente de la roca madre y su proceso formativo, de actividad volcánica o del lixiviado de mineralizaciones) o antropogénico (derivado de actividades industriales, agrícolas o mineras, o de residuos urbanos). De otra parte, citando a otros autores, señalan que el suelo se forma por la interacción de los sistemas de la atmósfera, la hidrósfera y la biósfera sobre la superficie de la geósfera.

FIGURA 8. Mapa geológico del ámbito de la zona de estudio



Elaboración propia. Fuente: GEOCATMIN.

Las unidades geológicas mapeadas corresponden a la información obtenida del GEOCATMIN del Ministerio de Energía y Minas, a escala de 1:100 000. Este indica que en la zona de estudio se registran formaciones geológicas ígneas compuestas por rocas

volcánicas y plutónicas correspondientes al batolito de la cordillera Blanca, cuya clasificación es “N”. Mientras esta es la que predomina en la margen derecha, en la orilla izquierda se encuentra la clasificación “PN”, perteneciente al grupo Calipuy. Las rocas sedimentarias cuyos componentes son terrígenos y volcánicos y su clasificación es “Js-Chic” y “Ki” provienen de la formación Chicama, grupo Goyllarisquizga y grupo Oriente, donde predominan las areniscas, lutitas, limolitas y calizas. Por último, los depósitos denominados “Q”, de origen glaciar, fluvio-glaciar, aluvial, coluvial y morrénico, se hallan en el cauce principal del río Santa, en la zona de estudio. Al encontrarse en la cuenca media y ser provenientes de zona alta, registran procesos de erosión que corresponden a la abrasión y al arrastre de material sedimentario, depositándose en la cuenca baja, donde tienen beneficios para la agricultura.

Considerando estos postulados, se realizó un análisis que tuvo en cuenta cada una de las cuatro zonas de estudio. La clasificación de las unidades geológicas, siguiendo las estaciones de muestreo trabajadas, es la siguiente:

- La estación Rnegr es donde están los mayores depósitos cuaternarios (Q) de origen continental, los cuales dejaron morrenas provenientes de procesos de desglaciación, así como de procesos fluvio-glaciares, coluviales y aluviales; asimismo, en la margen izquierda, se presentan rocas volcánicas sedimentarias cuya denominación es PN-vs. Las formaciones Js-m (Jurásico Superior marino) y N-gd-tn, que se ubican en la margen derecha, presentan la misma dimensión espacial. En esa formación (PN-vs) se encuentran las mayores concesiones para la actividad minera.
- La estación Rsant6 es donde están depósitos cuaternarios (Q) de origen continental, provenientes de procesos coluviales y aluviales; asimismo, en la

margen izquierda, se presentan rocas volcánicas sedimentarias cuya denominación es PN-vs. En esta estación se presenta la mayor dimensión de la formación Js-m (Jurásico Superior marino), así como la formación N-gd-tn en la margen derecha. Las concesiones para la minería están asentadas en la formación PN-vs.

- La estación Rsant7 presenta una geología de mayor diversidad debido a que cada unidad geológica posee casi un mismo tamaño. En esta estación se presentaron, en la margen izquierda, rocas volcánicas sedimentarias cuyas denominaciones son PN-vs y Ki-mc. La margen derecha presenta depósitos cuaternarios (Q) y Js-m y N-gd-tn. Las concesiones para actividades mineras están asentadas en la formación PN-vs y Ki-mc.
- En la estación Rsant8 (margen izquierda), presenta un predominio geológico de Ki-mc. En el límite izquierdo de la cuenca, hay formación PN-vs. En la margen izquierda, existen depósitos cuaternarios (Q) en el cauce del río Santa, también algunos parches de Ki-mc y, por último, N-gd-tn. En esta estación, las mayores concesiones para la minería están asentadas en la formación Ki-mc.

3.4.1.2. *Relieve y suelo*

De acuerdo con el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (1989), el relieve de la cuenca tiene una formación geométrica propia, que se presenta alargada en su recorrido desde la laguna Conococha, tomando el rumbo sureste-noroeste, hasta el océano Pacífico en su curso medio inferior. La Autoridad Nacional del Agua (2015) indica que los procesos de geodinámica externa están relacionados a las unidades geomorfológicas, agrupándose, según su espacio y origen, en las planicies costeras y áreas adyacentes (cordillera de la costa) y en la cordillera andina existen valles, planicies altas y nieves perpetuas. En los ríos de alta

pendiente, se tienen identificados procesos geodinámicos de flujos y caídas de rocas, vuelcos y deslizamientos. Las partículas de suelo se desprenden del tipo de sustrato y con el agua son arrastradas hacia abajo hasta llegar al valle. De hecho, no solo son transportadas por las aguas del río, sino también en forma sistemática por los tributarios al río. Asimismo, el proceso de transporte de los suelos (erosión) también está condicionado por la acción humana inadecuada, cuyos resultados serían la pérdida del perfil de suelo y, como consecuencia, el desfavorecimiento para los arbustos y la agricultura misma (Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, 1989).

3.4.1.3. Clima

El factor climático es una variable muy importante debido a que ha modelado de manera exógena el relieve de la cuenca. Según el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (1989), el clima y la ecología de la cuenca están integrados por cinco grandes grupos que tienen relación con su altitud: (a) perárido y semicálido (0-2000 m s. n. m.), compuesto por un desierto premontano y formación matorral desértica; (b) semiárido y templado (2000-3200 m s. n. m.), corresponde a la formación estepa espinosa montana baja, con vegetación natural; (c) subhúmedo y frío (3200-3800 m s. n. m.), concierne a la estepa montana y al bosque húmedo montano, con vegetación natural; (d) muy húmedo y frígido (3800-4800 m s. n. m.), comprende el páramo muy húmedo subalpino, con gramíneas de tipo forrajero y especies arbustivas; y (e) pluvial y gélido (más de 4800 m s. n. m.), corresponde a la formación tundra pluvial alpino.

Por su parte, el Ministerio de Energía y Minas (1998a) señala que, según la distribución espacial de la precipitación, la cuenca puede ser dividida en dos sectores. El primero es la “cuenca seca”, que comprende desde el nivel del mar hasta los 1800 m s. n. m., donde la precipitación pluvial anual es menor de 250 mm y que no aporta caudal de

escorrentía. El otro sector es la “cuenca húmeda”, ubicado entre los 1800 y los 4200 m s. n. m., cuyo promedio de precipitación anual es de 250 a 1200 mm. Las mayores precipitaciones al 80 %, se presentan en los meses de diciembre a marzo. La humedad relativa es mayor en la costa 81 %, mientras que en la sierra es del 61 %.

En ese sentido, en el ámbito de la zona de estudio, situado desde los 3200 a los 1850 m s. n. m., la estación Rsant8 se encuentra en el ecosistema perárido y las estaciones Rsant7, Rsant6 y Rnegr se ubican en el ecosistema semiárido templado. Todas las estaciones, por su localización, se corresponden con la cuenca húmeda.

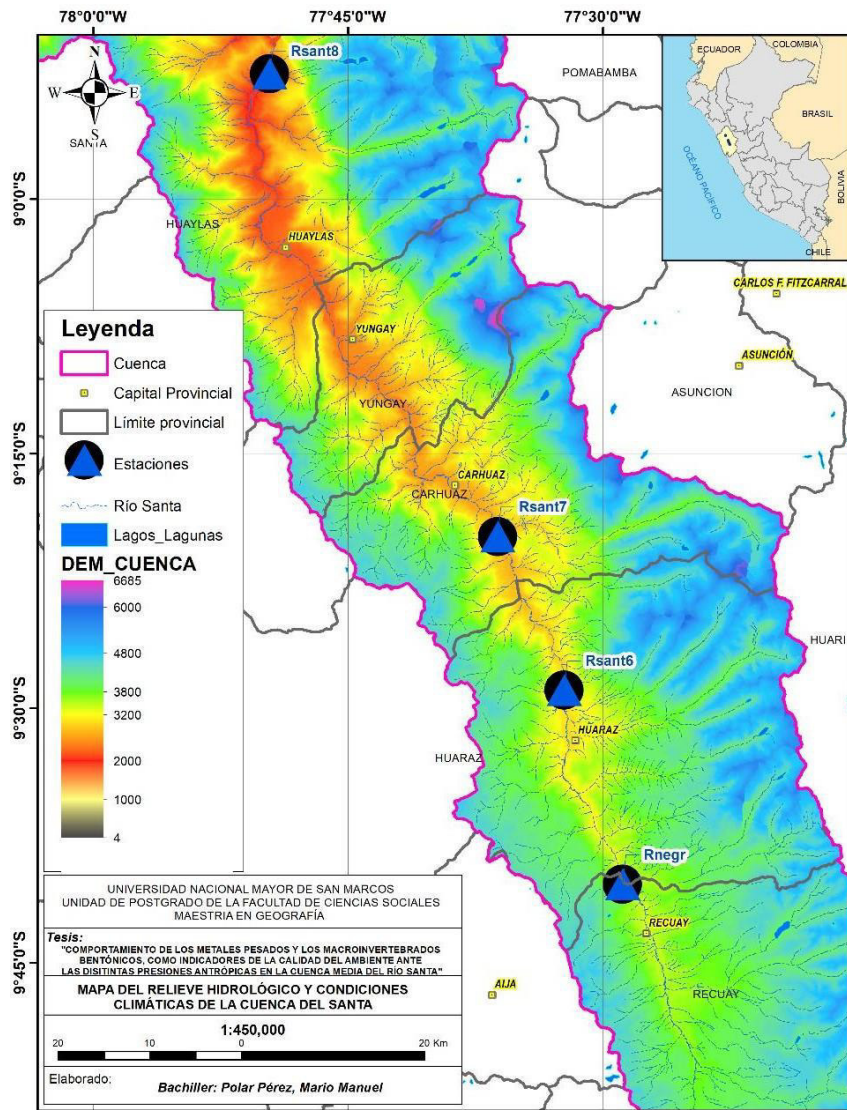
Asimismo, los factores climáticos someten a las rocas en la superficie y al relieve expuesto, a procesos de meteorización física, química y biológica, considerando las variables espaciotemporales. El relieve es el resultado de los procesos climáticos en periodos actuales y de los paleoclimas (Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, 1989)

3.4.1.4. Hidrología de la cuenca

El recurso hídrico es otro factor fundamental, debido a que es fuente de vida natural, de él dependen muchas actividades humanas y es punto de concentración y traslado de contaminantes y no contaminantes. El río Santa tiene su origen en la laguna Aguash, ubicada al extremo sureste del callejón de Huaylas, la cual vierte sus aguas a través del río Tuco hacia la laguna Conococha. El 83 % del área de la cuenca se encuentra sobre los 2000 m s. n. m., por lo que se produce un escurrimiento superficial originado por las precipitaciones que ocurren en la cuenca alta y los deshielos de la cordillera Blanca. Esto permite mantener el caudal del río Santa en periodos de estiaje, lo que lo convierte en uno de los más regulares de la costa peruana. El río Tablachaca, cuyos orígenes se encuentran en la laguna Pelagatos, se une con las aguas del río Santa en el poblado de Chuquicara a los 440 m s. n. m. Respecto al comportamiento estacional de las aguas, el 76 % del volumen de

descarga se manifiesta en periodos de avenida, el 15 % en periodos de estiaje y el restante en periodos de transición (Ministerio de Energía y Minas, 1998a).

FIGURA 9. Mapa hidrológico de la zona de estudio



Elaboración propia.

3.4.2. Características socioeconómicas

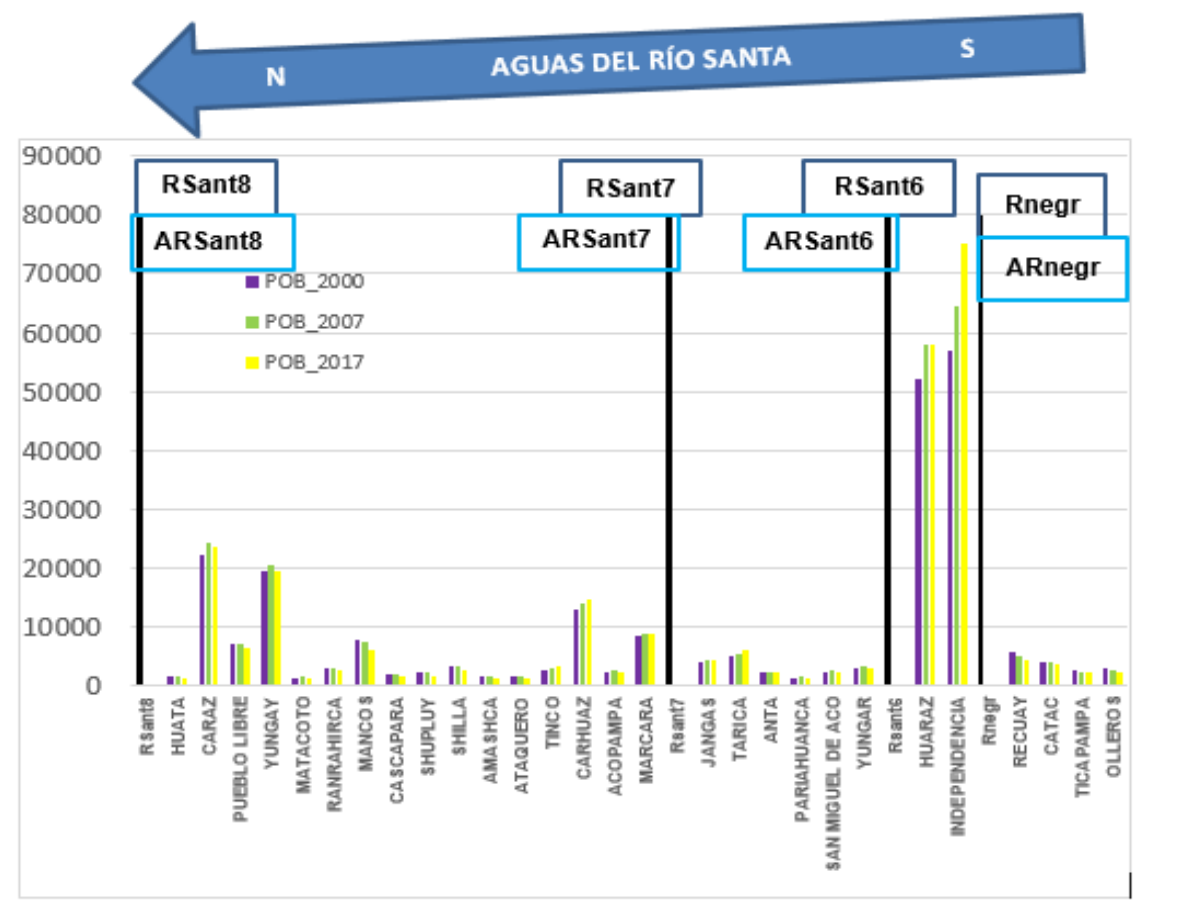
3.4.2.1. Asentamientos poblacionales en el ámbito de la zona de estudio

Para continuar con esta investigación, es preciso exponer la distribución de los habitantes y su variación espaciotemporal, en los 28 distritos que se encuentran en el ámbito de estudio. Estos distritos son Recuay, Cátac, Ticapampa y Olleros (que confluyen en las estaciones Rnegr y A-Rnegr); Huaraz e Independencia (Rsant6 y A-Rsant6); Jancas, Tarica, Anta, Pariahuanca, Aco y Yungar (Rsant7 y A-Rsant7); y , sobre todo, Huata, Caraz, Pueblo Libre, Yungay, Matacoto, Ranrahirca, Mancos, Cascapara, Shupluy, Shilla, Amashca, Carhuac, Tinco, Carhuaz, Acopampa y Marcará (Rsant8 y A-Rsant8).

Los resultados del último censo de 2017. determinan que las áreas de influencia de las estaciones Rsant6 y A-Rsant6 tienen la mayor cantidad de habitantes (Huaraz e Independencia 132 902 habitantes). Le siguen las estaciones Rsant8 y A-Rsant8 con 100 019 habitantes, mientras que las estaciones Rsant7 y A-Rsant7 tienen una población de 19 903 habitantes y, finalmente, las estaciones Rnegr y A-Rnegr solo registran 12 928 habitantes.

Los distritos de Independencia, Huaraz y Caraz tienen la mayor cantidad de habitantes, siendo Independencia el distrito que más incrementó su población, según el último censo de 2017. Entre tanto, los distritos de Olleros, Ticapampa, Recuay y Cátac presentaron decrecimiento poblacional, los cuales se muestran en la Figura 10.

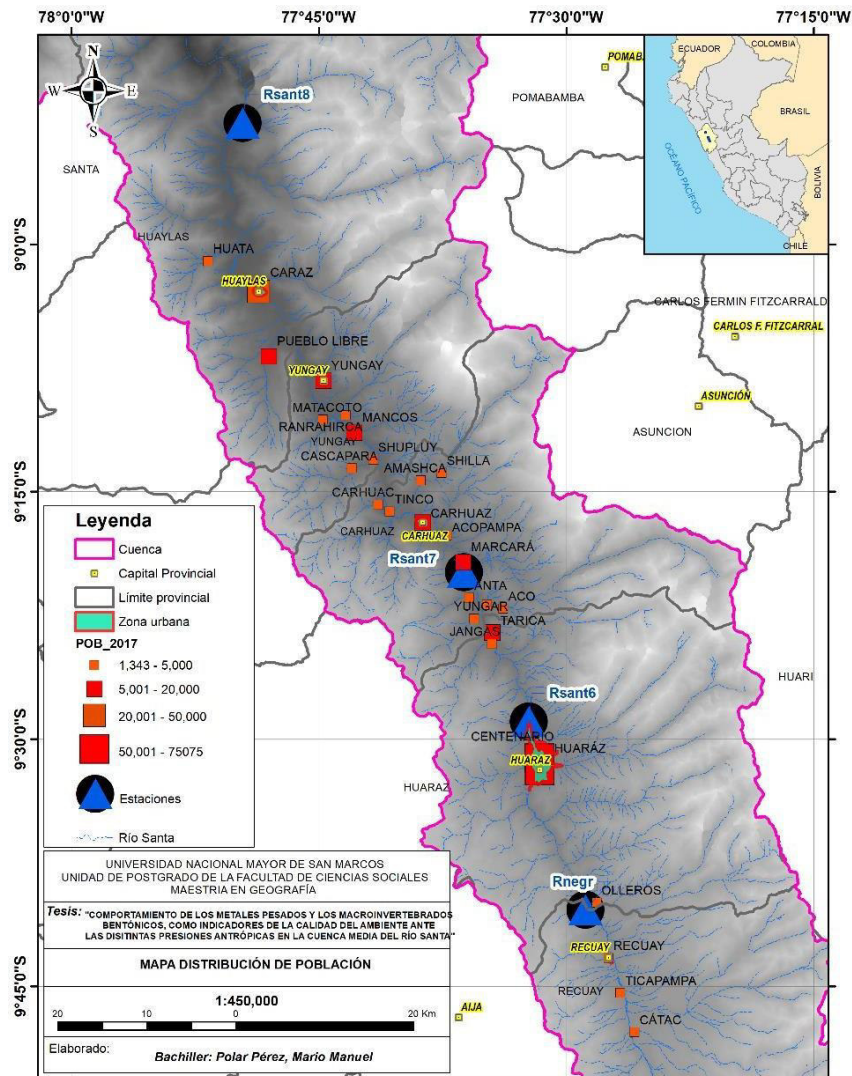
FIGURA 10. Distribución de la población en la zona de estudio



Elaboración propia. Fuente: INEI.

La variación de la población, por cada estación de muestreo, proviene de los resultados del INEI de la proyección al año 2000 y los resultados censales de los años 2007 y 2017.

FIGURA 11. Mapa de distribución de la población en la zona de estudio



Elaboración propia. Fuente: INEI.

3.4.2.2. Agricultura

Galán Huertos y Romero Baena (2008) mencionan que el suelo “se forma por la interacción de los sistemas atmósfera, hidrosfera y biosfera sobre la superficie de la geosfera” (p. 48).

Considerando la formación de los suelos, su aptitud y su uso, se desarrolla la agricultura, la cual está definida por el conjunto de instituciones, empresas y personas naturales que realizan actividades relacionadas con la agricultura, la ganadería, la apicultura, el manejo y la extracción forestal, la agroindustria, la agroexportación y la comercialización de productos e insumos agrarios.

En cuanto a los campos agrícolas que se encuentran distribuidos a lo largo del río Santa, la zona más explotada es el valle costero. En la parte media y alta, para el riego de los cultivos se utilizan las aguas provenientes de las quebradas, los tributarios y, en menor grado, los manantiales. Aunque en la literatura no se menciona, en la parte baja, el agua para el riego proviene de los ríos Santa y Tablachaca (Ministerio de Energía y Minas, 1998a).

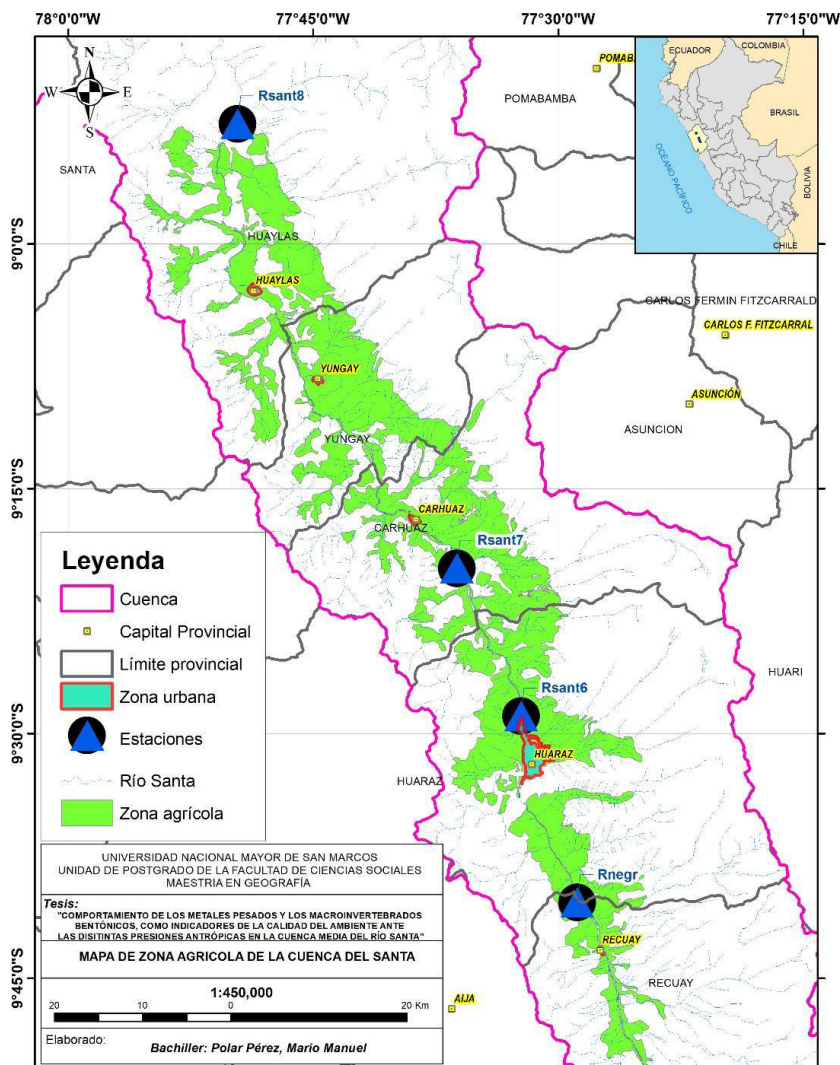
Podríamos indicar, sobre la agricultura de la zona de estudio, la cual abarca de los 2070 a los 3350 m s. n. m., que se registran las dos siguientes formaciones ecológicas:

- Estepa espinosa premontana (hasta 2600 m s. n. m.): Las precipitaciones varían entre los 200 y 500 mm durante el año, con un promedio anual de 350 mm. La temperatura promedio anual es de 14° C. Debido a sus condiciones termopluviométricas, la agricultura se realiza mediante un sistema mixto de riego y secano. Los cultivos y cosechas predominantes son los de papa, trigo, cebada, maíz y frutales (manzana, membrillo y durazno); asimismo, existen plantaciones de eucalipto. Sus laderas menos accidentadas permiten el pastoreo estacional de ganado vacuno.
- Pradera húmeda montana (hasta 3700 m s. n. m.): Las precipitaciones varían entre los 500 y 1000 mm durante el año, con un promedio anual de 800 mm. La temperatura promedio anual es de 10° C. Debido a sus condiciones termopluviométricas, puede ser clasificado como húmedo y frío (lluvias intensas

y temperatura baja). La agricultura es de carácter semintensivo. Los cultivos predominantes son los de papa, trigo, cebada, maíz, arveja, lenteja y olluco; asimismo, destaca una actividad forestal densa de eucalipto. Los matorrales y arbustos son utilizados para el pastoreo de vacunos (Ministerio de Energía y Minas, 1998a).

El estudio de la Autoridad Nacional del Agua (2015) hace referencia a los análisis con imágenes satelitales realizadas por el Ministerio del Ambiente en los años 2014 y 2015. Estos evidencian que, en los distritos de Jangas e Independencia, se ha incrementado la superficie de áreas cultivables, lo que permite concluir que las zonas de cultivos mantienen cierta dinámica.

FIGURA 12. Mapa de distribución de las tierras de cultivo en la zona de estudio



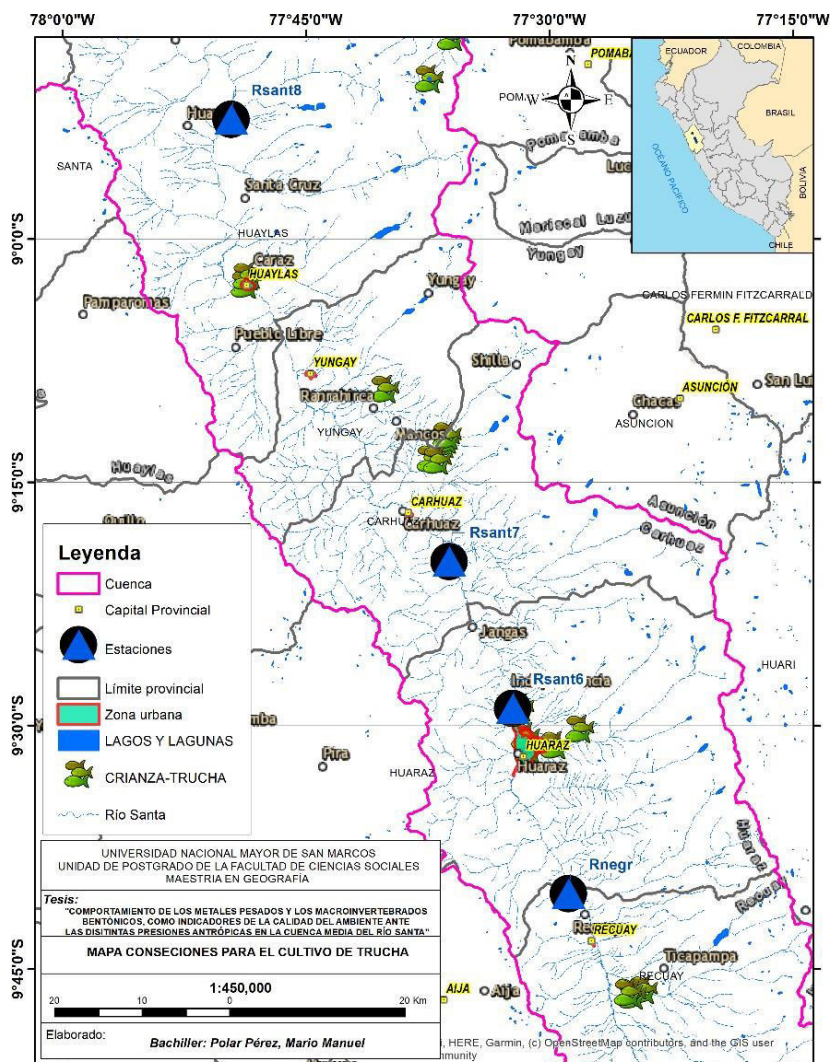
Fuente: Mapa de Ecosistemas del MINAM, 2018

3.4.2.3. Acuicultura o cultivo de truchas

El catastro acuícola publicado por el Ministerio de la Producción en su plataforma <http://catastroacuicola.produce.gob.pe/web/> muestra la distribución espacial de las concesiones acuícolas para crianza de trucha en el valle del río Santa. La identificación de dichas actividades según la zona de estudio nos permite indicar que estas actividades productivas están asentadas en los distritos de Caraz, Cátac, Independencia, Shilla,

Ticapampa y Yungay. Cabe señalar que, según el Organismo Nacional de Sanidad Pesquera (2021) del Ministerio de la Producción, al año 2020, los productores de trucha arcoíris en el país son 2800, de los cuales el 45 % realiza la actividad con recursos limitados (AREL), el 54% corresponde a la pequeña y mediana empresa (AMYPE) y menos del 1 % a la mediana y gran empresa (AMYGE). En el valle del Santa, la producción es de tipo AREL.

FIGURA 13. Mapa de la red hídrica del río Santa y distribución de concesiones para la crianza de trucha en la zona de estudio



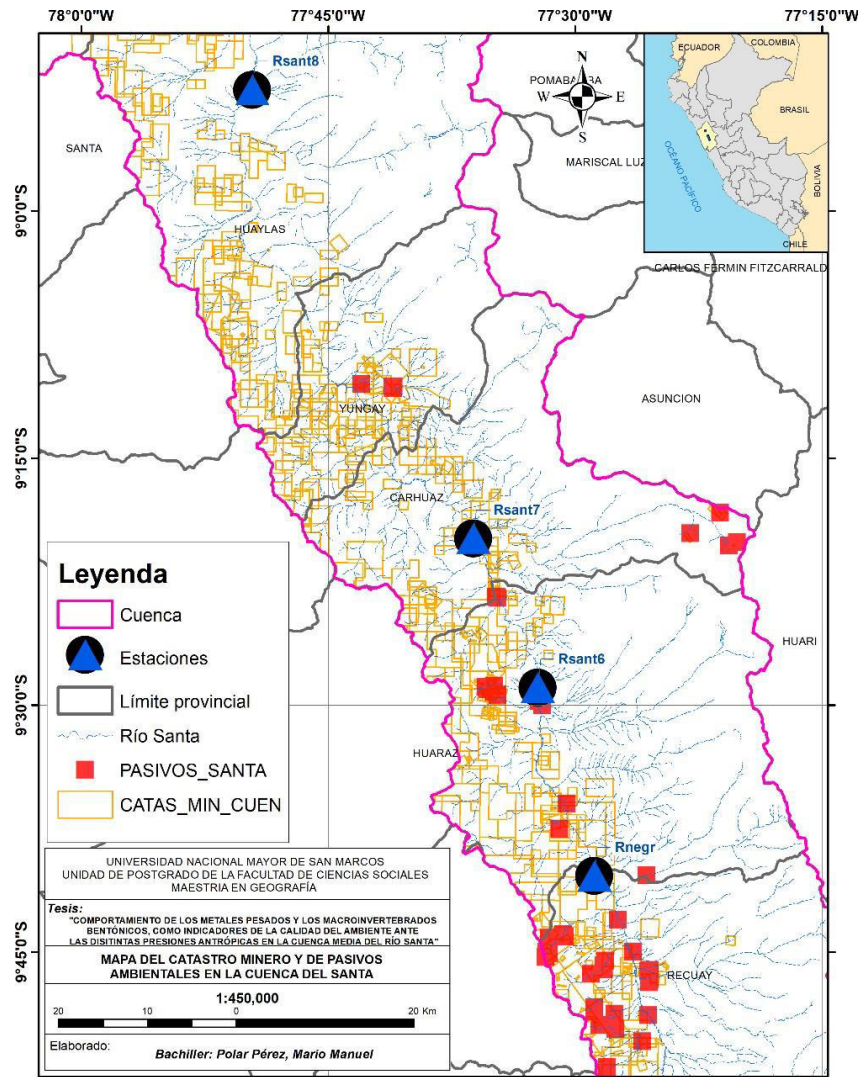
Elaboración propia. Fuente: Catastro acuícola - PRODUCE.

3.4.2.4. Minería y pasivos ambientales

El Ministerio de Energía y Minas (2018a) menciona que en la región Áncash los minerales se presentan en diferentes tipos de depósitos: pórfidos, epitermales, skams y vetas. Los principales minerales obtenidos de la actividad minera son el Cu y el Zn concentrado; además, se extrae Pb, Au, Ag y Mb. Por su lado, Arcos Alarcón, Yupa Paredes y Calderón Cossio (2021), en referencia a las actividades de minería artesanal, señalan que en la cuenca se halla el sector denominado “Cordillera Negra”, entre Caraz y Aija. Geológicamente, entre Caraz y Jangas, afloran secuencias sedimentarias cretácicas (grupo Goyllarisquiza), paralelas al río Santa. Desde Jangas hacia el sur, afloran secuencias volcánicas terciarias (grupo Calipuy), con excepción del área de Aija, donde aflora una ventana cretácica. Todas las secuencias se ven instruidas por cuerpos subvolcánicos dacíticos y andesíticos, los cuales estarían relacionados a la mineralización.

Según el catastro minero, información que proviene de GEOCATMIN, portal del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET) del Ministerio de Energía y Minas, en la zona de estudio (comprendida desde la latitud 8° 59' 00'' S a 9° 52' 00'' S) se registran 603 denuncios mineros; sin embargo, considerando solo los titulados, se registran 444 unidades catastrales mineras.

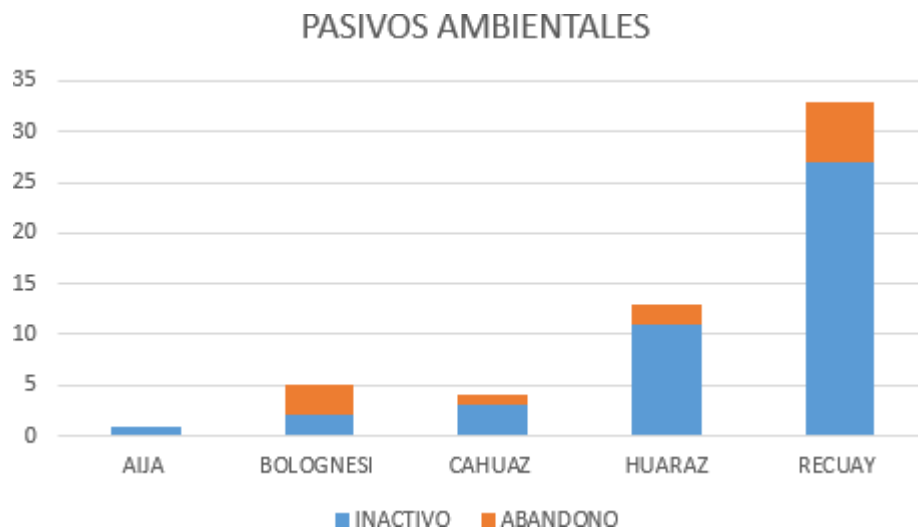
FIGURA 14. Concentración de actividades mineras en la zona de estudio



Elaboración propia. Fuente: GEOCATMIN.

Respecto a la distribución de los pasivos ambientales, la Resolución Ministerial n.º 290-2006-MEM-DM indica que, en la zona de estudio, se registran 56 pasivos ambientales, los cuales se distribuyen desde la provincia de Aija, con un pasivo inactivo, hasta la provincia de Recuay, que registra 33 pasivos, de los cuales 27 son inactivos y 6 están en abandono (ver Figura 15).

FIGURA 15. Presencia de pasivos ambientales en la zona de estudio

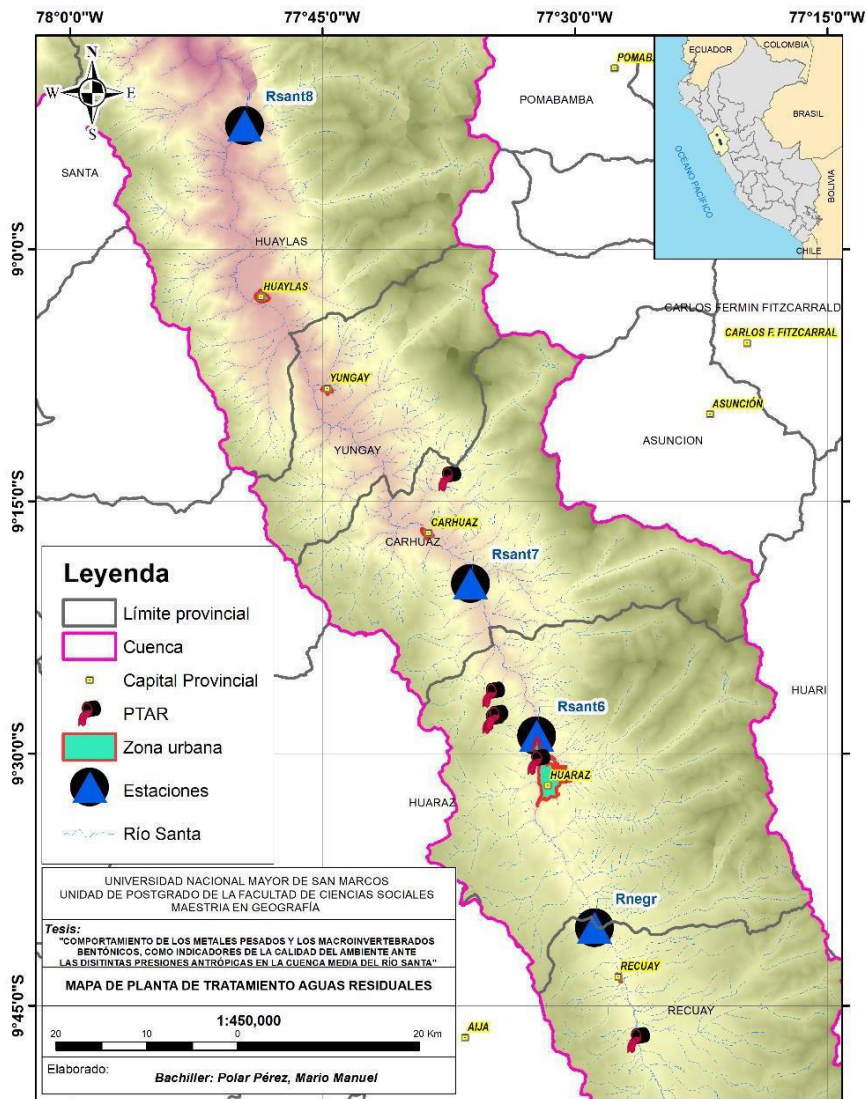


Elaboración propia. Fuente: Resolución Ministerial n.º 290-2006-MEM-DM, GEOCATMIN.

3.3.2.5. Plantas de tratamiento de aguas residuales

En la zona de estudio, se registran ocho plantas de tratamiento de aguas residuales, según la información obtenida de la ANA, a través de la plataforma virtual WMS (Web Map Service). De ellas, tres están asociadas al tratamiento de residuos urbanos: la primera se halla en el distrito de Cátaç, a 13,77 km de distancia de la estación Rnegr; la segunda, en el distrito de Independencia, a 4,66 km de la estación Rsant6; y la última, en el distrito de Shilla, a 39,75 km de la estación Rsant8. Las cinco plantas de tratamiento de aguas residuales restantes se encuentran asociadas a empresas mineras.

FIGURA 16. Concentración de la población y distribución de las plantas de tratamiento de aguas residuales en la zona de estudio



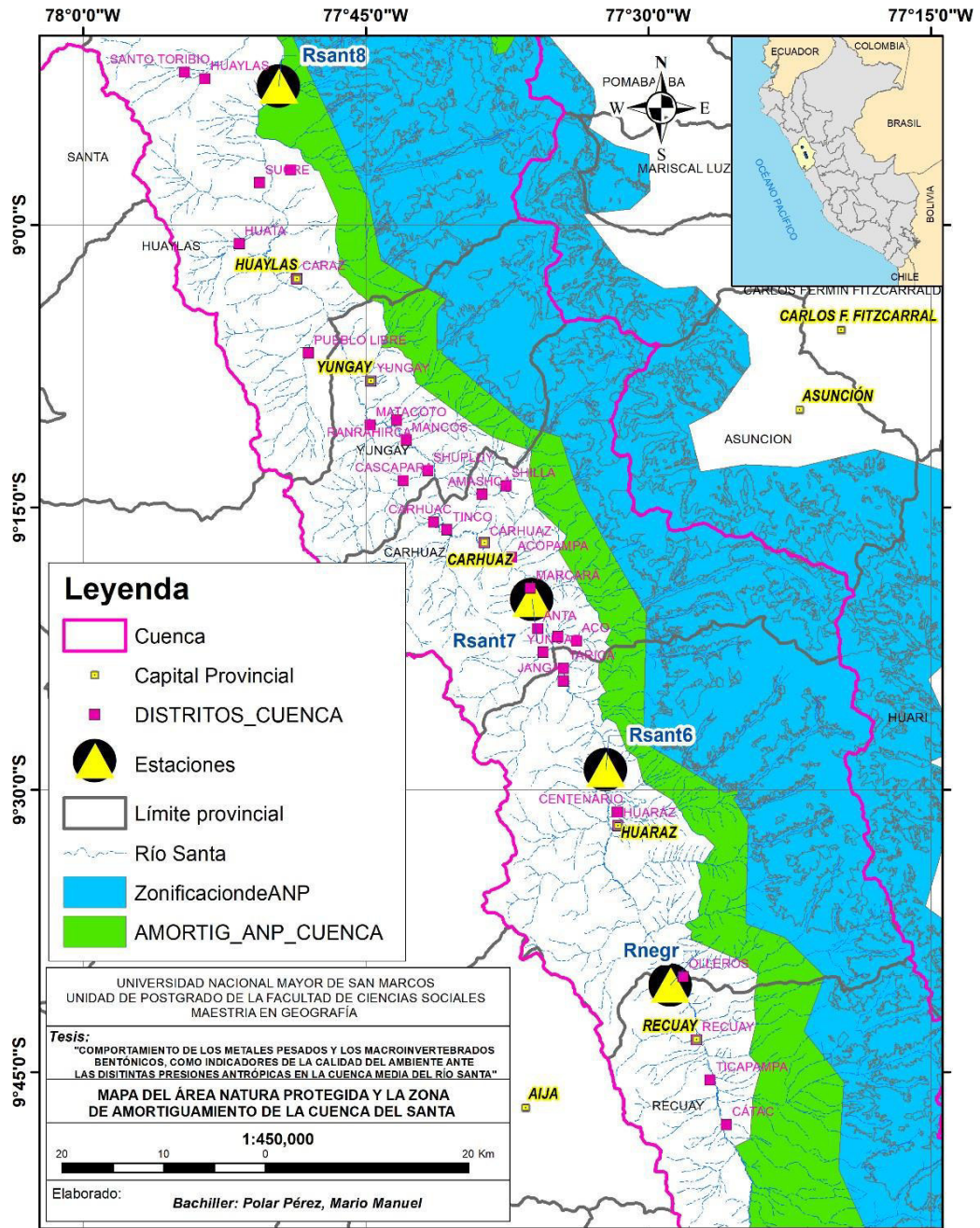
Elaboración propia. Fuente: ANA.

3.3.2.6. Área natural protegida

En la margen derecha de la cuenca del río Santa, se encuentra la cordillera de los Andes, lugar donde se registran las mayores altitudes que tiene el país y también el denominado Parque Nacional Huascarán (PNH). Este parque fue creado el 1 de julio de 1975 con la promulgación del Decreto Supremo n.º 0622-75-AG. El PNH se halla en la jurisdicción de las provincias de Recuay, Huaraz, Huaylas, Carhuaz, Yungay, Mariscal Luzuriaga, Pomabamba, Huari, Corongo, Sihuas y Bolognesi, al interior del departamento de Áncash. Su amplitud sobrepasa los límites naturales de la cuenca del Santa.

Este lugar fue reconocido por la UNESCO como reserva de biosfera en 1977 y como patrimonio natural de la humanidad en 1985. El objetivo de su creación fue proteger la cordillera tropical más extensa del mundo, la cual es un ecosistema particular que necesita de la protección por parte no solo del Estado peruano, sino de las instituciones internacionales.

FIGURA 17. Parque Nacional del Huascarán



Elaboración propia. Fuente: SERNANP.

IV. RESULTADOS

4.1. Parámetros fisicoquímicos en agua

La medición de los parámetros fisicoquímicos en el agua superficial del río Santa, se realizó de manera *in situ* con un Multiparámetro. Estos parámetros fueron el pH, el oxígeno disuelto y la temperatura, los cuales se registraron en cada una de las estaciones de muestreo, así como en sus estaciones de réplica. Para comparar la calidad en el agua, se utilizaron los estándares de calidad de agua expuestos en el proyecto de la Mancomunidad Municipal del Valle Fortaleza y del Santa (2017). Debido a que en la cuenca se desarrollan diversas actividades antrópicas, se emplearon tres categorías y cuatro subcategorías (ver Tabla 5).

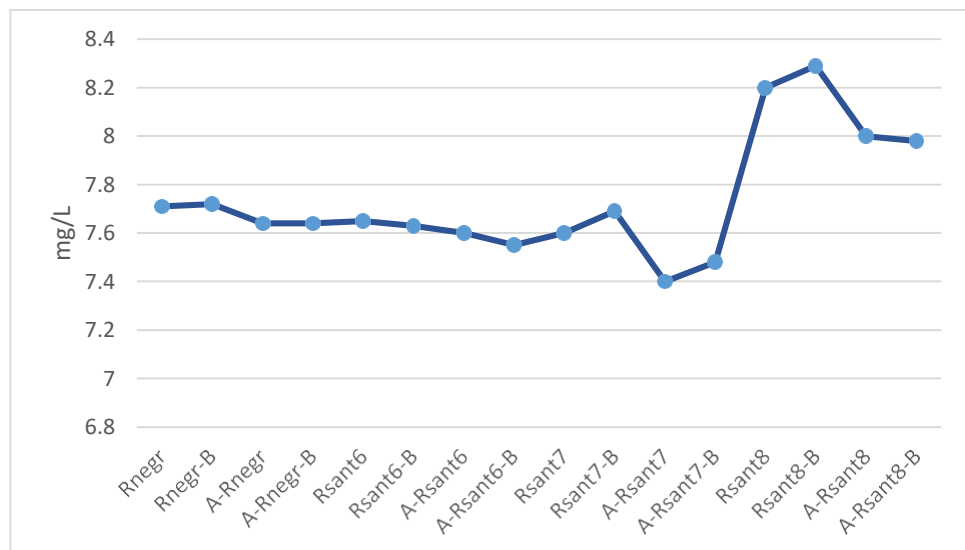
TABLA 5. Estándares de calidad ambiental y las categorías y subcategorías que refieren las actividades económicas que se desarrollan en el ámbito de la zona de estudio

CATEGORÍA	1. Poblacional y recreacional	3. Riego de vegetales y bebida de animales	4. Conservación del ambiente acuático	
SUBCATEGORÍA	A2. Aguas que pueden ser potabilizadas	D1. Riego de vegetales (restringido y no restringido)	D2. Bebida de animales	E2. Ríos de la costa y sierra
pH	5,5-9,0	6,5-8,5	6,5-8,4	6,5-9,0
Oxígeno disuelto	≥ 5	≥ 4	≥ 5	≥ 5
Temperatura	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 3

4.1.1. pH

La distribución del pH en las aguas superficiales del río Santa varió de 7,40 (A-Rsant7) a 8,29 (Rsant8-B), con un promedio de 7,74. Analizando los datos obtenidos, podemos precisar que a partir de la estación Rsant8 se incrementó el pH por encima de los 8,00, lo cual podría tener alguna relación con las mayores temperaturas en el agua (hallados en la investigación) asimismo, es en la estación Rsant8 donde se registran las más altas concentraciones de metales pesados. Al compararlos con los ECA agua (Tabla 5), detectamos que los valores encontrados se encuentran dentro del rango de los estándares, en las categorías 1 y 4, el pH se halla muy por debajo del límite, sin embargo, en la categoría “3. Riego de vegetales y bebida de animales”, ya que su límite es 8,5 y 8,4, respectivamente.

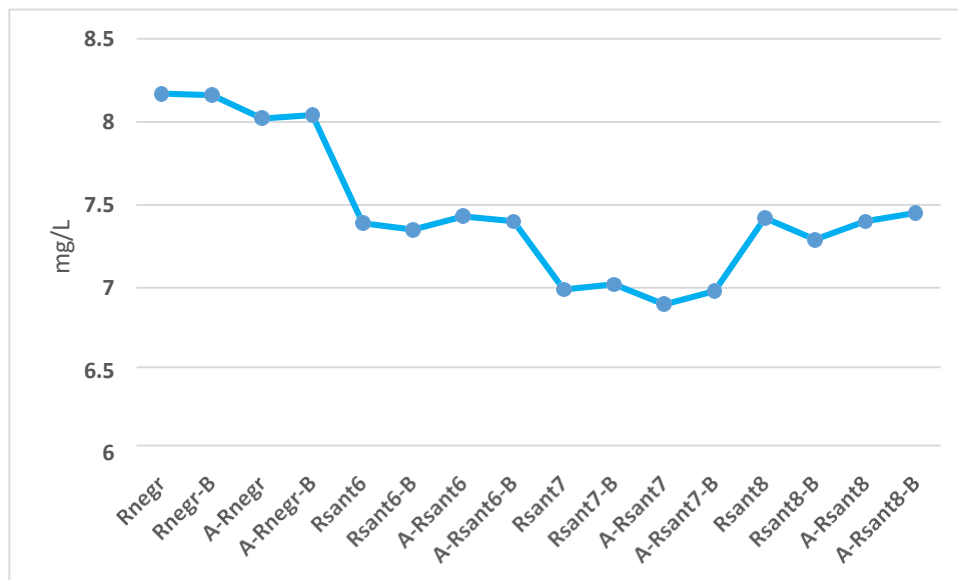
FIGURA 18. Variación del pH según las estaciones de muestreo



4.1.2. Oxígeno disuelto en agua

La distribución espacial del oxígeno disuelto en aguas superficiales del río Santa, varió de 6,9 (A-Rsant7) a 8,17 mg/L (Rnegr), con un promedio de 7,46 mg/L. La estación Rnegr registró la mayor concentración de oxígeno disuelto en sus aguas; mientras que la estación Rsant7, el menor valor. Este resultado podría estar relacionado con la amplitud del cauce del río, según cada estación de muestreo. De otro lado, Escobar (2002) menciona que los contaminantes de origen orgánico disminuyen el oxígeno disuelto en las aguas, lo que tiene relación con la presencia de fuentes industriales, domésticas y asentamientos humanos. En efecto, cerca de la estación Rsant7 existen concentraciones de poblaciones. Al comparar los resultados con los ECA de agua, detectamos que los valores hallados en el presente estudio se encuentren dentro del rango, considerando las categorías 1, 3 y 4.

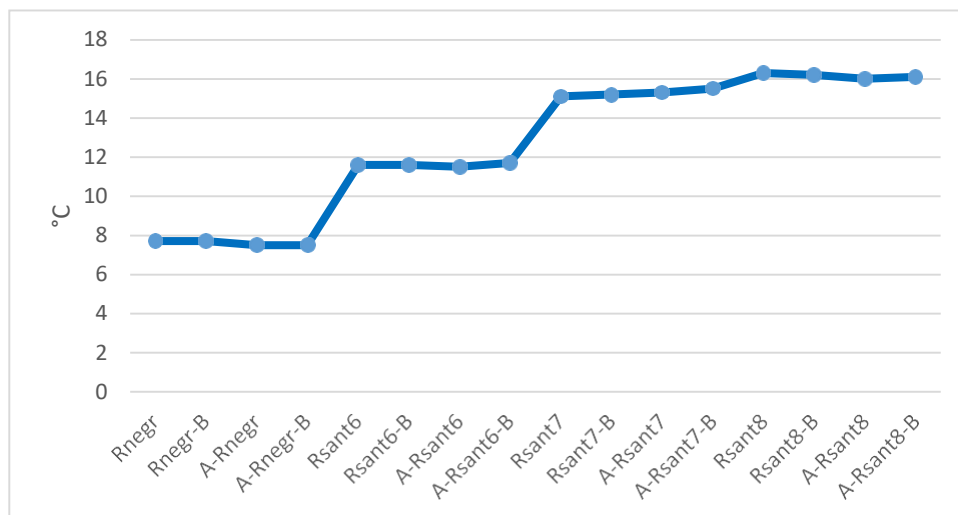
FIGURA 19. Variación del oxígeno disuelto según las estaciones de muestreo



4.1.3. Temperatura

La distribución de la temperatura en las aguas superficiales del río Santa varió de 7,5 (A-Rnegr) a 16,3 °C (Rsant8-B), con un promedio de 12,6 °C. Esta variación de temperatura del agua podría responder, en gran medida, a la hora de la toma de muestras, ya que las operaciones de muestreo, desde la primera estación de mayor altitud (Rnegr), comenzaron a las 6:33 a. m., y culminaron, en la última estación (A-Rsant8), a las 6:00 p. m.

FIGURA 20. Variación de la temperatura según las estaciones de muestreo



4.2. Metales pesados en sedimentos

Los metales pesados y metaloides analizados en el presente estudio fueron Be, Ni, Mn Tl, Ag, Se, Co, V, Hg, Zn, Cu, Cd, Sb, Pb y As, los cuales fueron colectados en los sedimentos del fondo de los cuerpos de agua, en cada una de las ocho estaciones de muestreo, así como en sus réplicas. Los Estándares de Calidad Ambiental para Suelo, descritos en el Decreto Supremo n.º 011-2017-MINAM, que son un referente obligatorio para el diseño y aplicación de los instrumentos de gestión ambiental, solo son aplicables para tres tipos de suelo, según

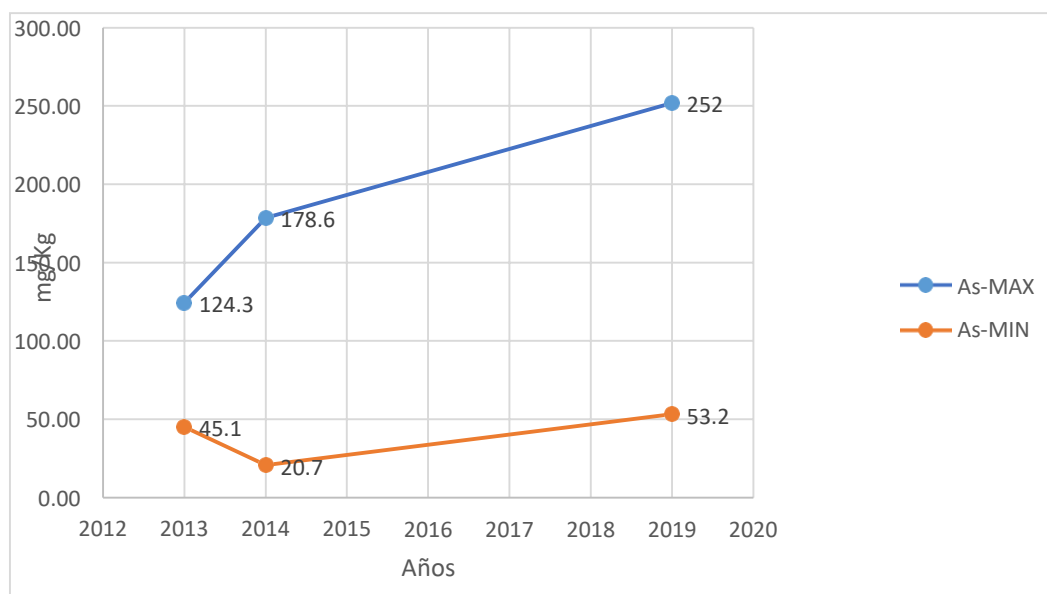
su uso: agrícola, residencial/parques y comercial/industrial/extractivo. Ciertamente, en estos ECA no existe un componente que aluda al cuidado del ambiente, así como a los posibles peligros de los recursos hídricos e hidrobiológicos.

Por ello, se consideró de importancia comparar los valores obtenidos con las “Directrices para la protección de la vida acuática (calidad ambiental de los sedimentos)”, del Consejo de Ministros Canadiense de Medioambiente (CCME). Se tomaron esas directrices como referencia, ya que son pocos los estudios o índices que relacionan los valores de metales pesados de los cuerpos de agua. Cabe señalar que la vida acuática se asocia a los sedimentos del fondo, para ello establecen en dos tipos de valores: (a) *Interim Sediment Quality Guidelines* (ISQG), corresponde a límites por debajo de los cuales no se esperan efectos biológicos adversos y (b) *Probable Effect Level* (PEL), corresponde a concentraciones encima de las cuales los efectos biológicos adversos se encuentran con frecuencia. De ambos indicadores, solo se podrán comparar los siguientes metales y metaloide: As, Cd, Cu, Pb, Hg y Zn.

4.2.1. Arsénico (As)

La distribución del arsénico en el sedimento del río Santa, en los años 2013, 2014 y 2019, varió de 20,70 (en 2014) a 252 mg/kg (en 2019). El menor y mayor valor se registraron en la estación Rnegr. Los resultados obtenidos en los estudios de la ANA en los años 2013 y 2014 indican que el As varió de 20,7 (en 2014) a 178,6 mg/kg (en 2014). En ambos periodos, el mayor valor se halló en la estación Rsant7.

FIGURA 21. Variación del arsénico respecto a los años 2013, 2014 y 2019

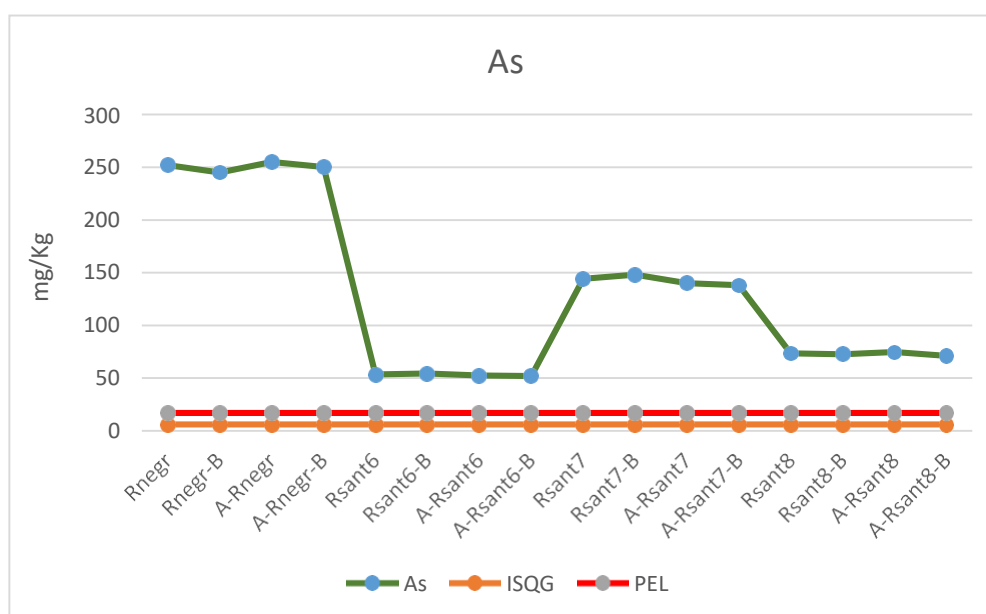


Los resultados en el presente muestreo (2019) indicaron que los valores del As variaron de 51,90 (A-Rsant6-B) a 252 mg/kg (A-Rnegr), con un promedio de 129,68 mg/kg. En ese año, los mayores valores se hallaron en las estaciones asociadas a la Rnegr, los cuales podrían indicar que existe alguna relación con la presencia de los pasivos ambientales que se ubican aguas arriba de la estación de muestreo. De otro lado, los menores valores se registraron en las estaciones Rsant6 y Rsant8. Asimismo, un dato a destacar es que los valores obtenidos en la presente investigación fueron superiores a lo registrado en años anteriores.

Al comparar los resultados con las “Directrices para la protección de la vida acuática” del CCME, consideramos el estándar interino de calidad del sedimento o ISQG (Interim Sediment Quality Guideline) y el nivel de efecto probable o PEL (Probable Effect Level). El ISQG implica unos límites por debajo de los cuales no se esperan efectos biológicos adversos; en esta investigación tiene un valor de 5,9 mg/kg. Por su parte, el PEL supone que cuando hay concentraciones por encima de este límite, suele haber efectos

biológicos adversos; en este trabajo el resultado obtenido es 17,0 mg/kg. Esto indicaría que los valores hallados en ambos años de muestreo superaron ampliamente los dos límites.

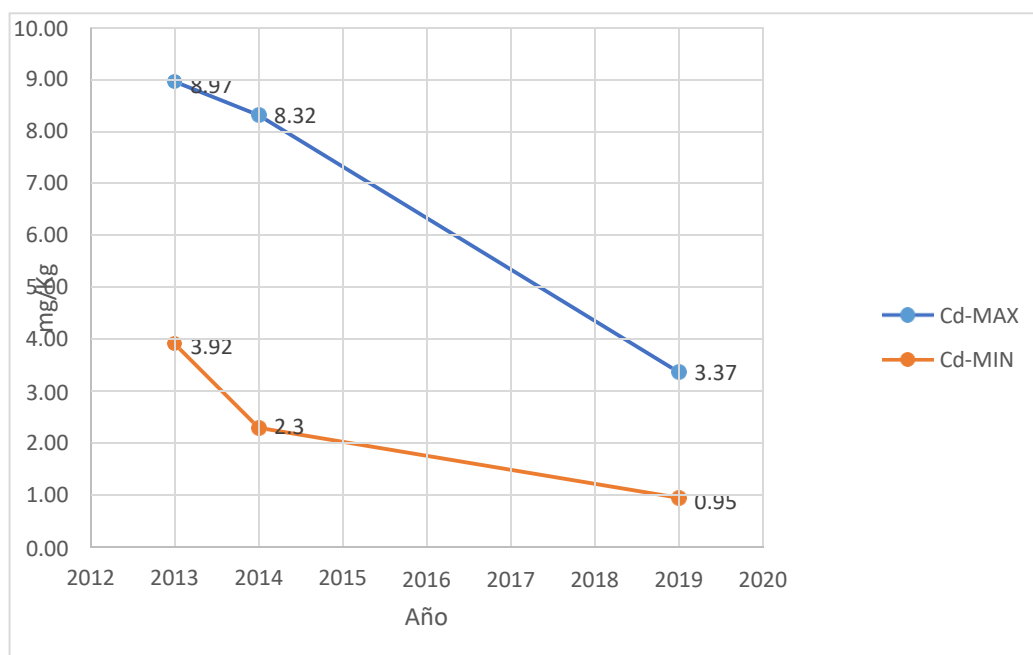
FIGURA 22. Variación del arsénico según las estaciones de muestreo



4.2.2. Cadmio (Cd)

La distribución del cadmio en el sedimento del río Santa, en los años 2013, 2014 y 2019, varió de 0,95 (en 2019) a 8,97 mg/kg (en 2013). El mayor valor se halló en la estación Rnegr en el 2013, y el menor valor, en la estación Rsant6 en el 2019. Los resultados obtenidos en los estudios de la ANA en los años 2013 y 2014 indican que el Cd varió de 2,30 (en 2014) a 8,97 mg/kg (en 2013).

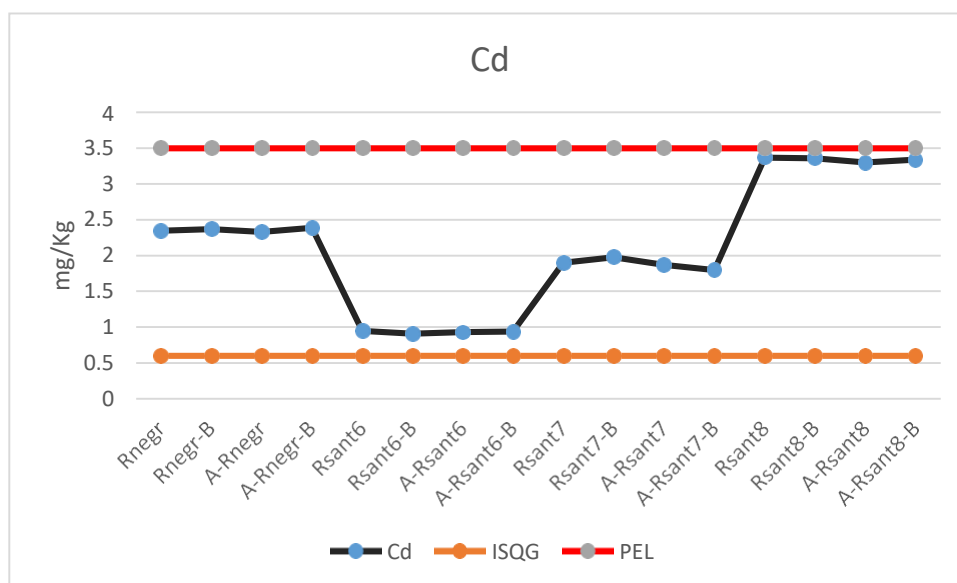
FIGURA 23. Variación del cadmio respecto a los años 2013, 2014 y 2019



Los resultados en el presente muestreo (2019) indicaron que los valores del Cd variaron de 0,91 (Rsant6-B) a 3,37 mg/kg (Rsant8), con un promedio de 2,13 mg/kg. En ese año, los mayores valores se hallaron en las estaciones asociadas a la Rsant8, los cuales podrían indicar que existe alguna relación con la mayor presencia de actividades mineras. Asimismo, los valores obtenidos en la presente investigación fueron inferiores a lo registrado en años anteriores.

Al comparar los valores con las “Directrices para la protección de la vida acuática” del CCME, tenemos que, en esta investigación, el ISQG es 0,6 mg/kg y el PEL, 3,5 mg/kg. Esto indicaría que todas las estaciones superaron el ISQG, pero estuvieron por debajo del PEL.

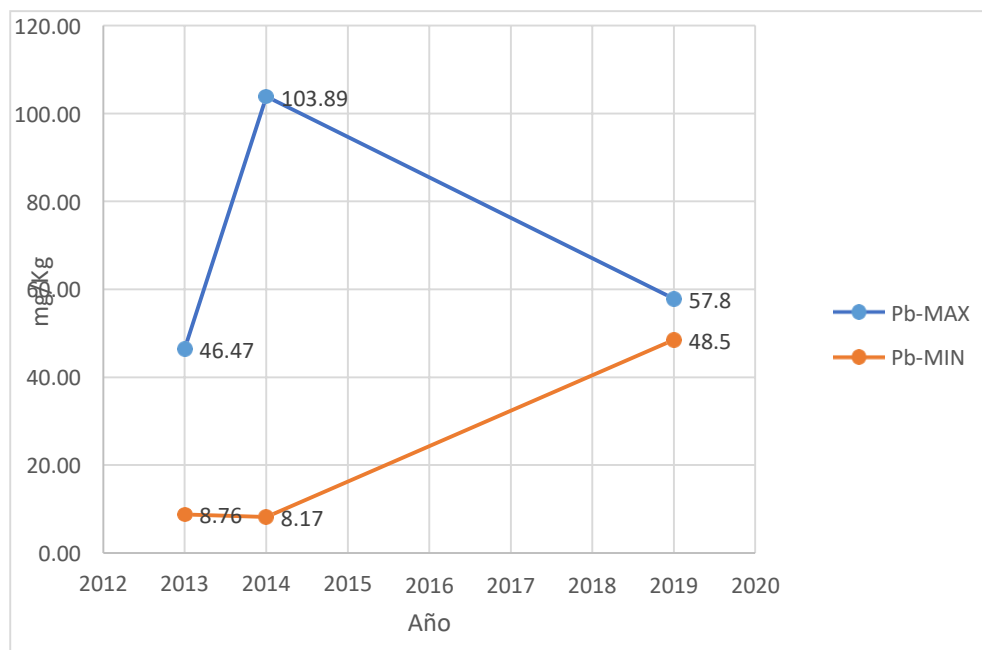
FIGURA 24. Variación del cadmio según las estaciones de muestreo



4.2.3. Plomo (Pb)

La distribución del plomo en el sedimento del río Santa, en los años 2013, 2014 y 2019, varió de 8,17 (en 2014) a 103,89 mg/kg (en 2014). El mayor valor se registró en la estación Rsant6 y el menor valor, en la estación Rnegr, ambos en el año 2014.

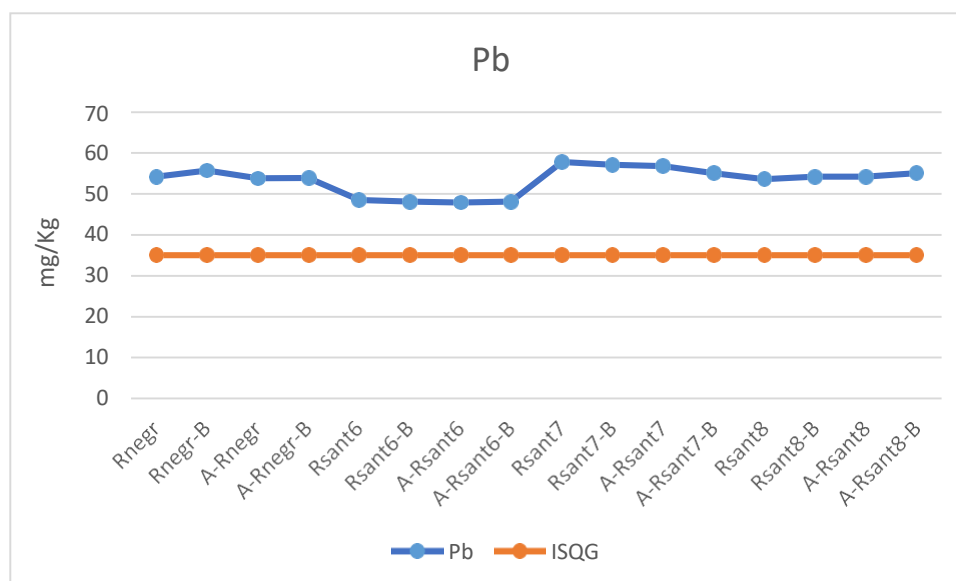
FIGURA 25. Variación del plomo respecto a los años 2013, 2014 y 2019



Los resultados en el presente muestreo (2019) indicaron que los valores del Pb variaron de 47,90 (A-Rsant6-B) a 57,80 mg/kg (Rsant7), con un promedio de 53,38 mg/kg. En ese año, los mayores valores se hallaron en las estaciones asociadas a la Rsant7 y, por su lado, las estaciones asociadas a la Rsant6 estuvieron por debajo de los 50,00 mg/kg. Asimismo, los valores obtenidos en la presente investigación estuvieron en la media en comparación a lo registrado en años anteriores.

Al comparar los resultados con las “Directrices para la protección de la vida acuática” del CCME, tenemos que, en esta investigación, el ISQG es 35 mg/kg y el PEL, 91,3 mg/kg. Esto indicaría que todas las estaciones superaron el ISQG, pero estuvieron por debajo del PEL.

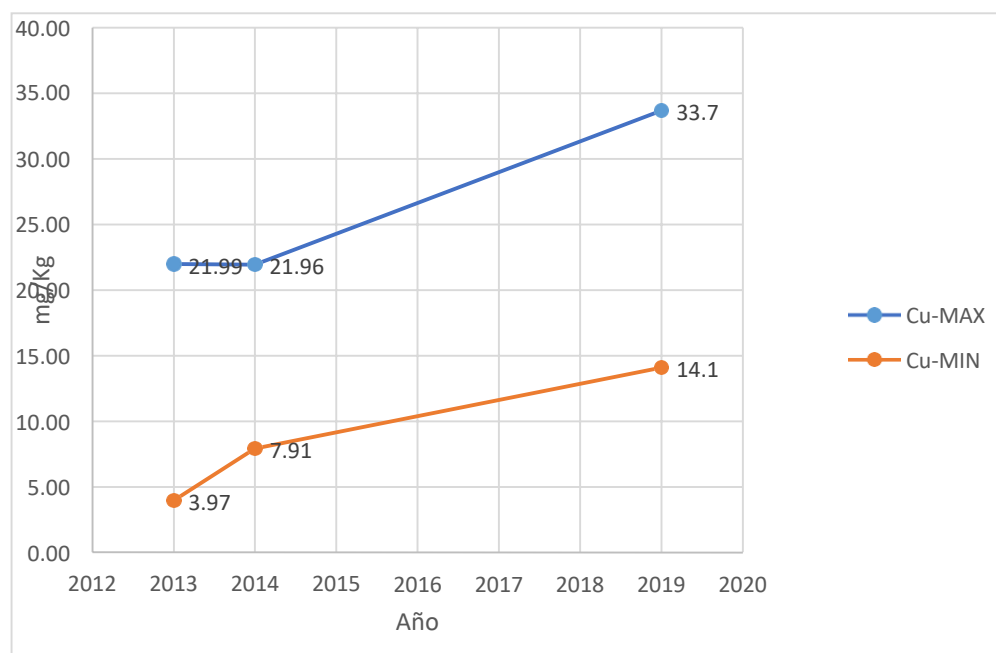
FIGURA 26. Variación del plomo según las estaciones de muestreo



4.2.4. Cobre (Cu)

La distribución del cobre en el sedimento del río Santa, en los años 2013, 2014 y 2019, varió de 3,97 (en 2013) a 33,70 mg/kg (en 2019). El mayor valor se registró en la estación Rsant8 en 2019 y el menor valor, en la estación Rnegr en 2013. Los resultados obtenidos en los estudios de la ANA en los años 2013 y 2014 indican que el Cu varió de 3,97 (en 2013) a 21,99 mg/kg (en 2013).

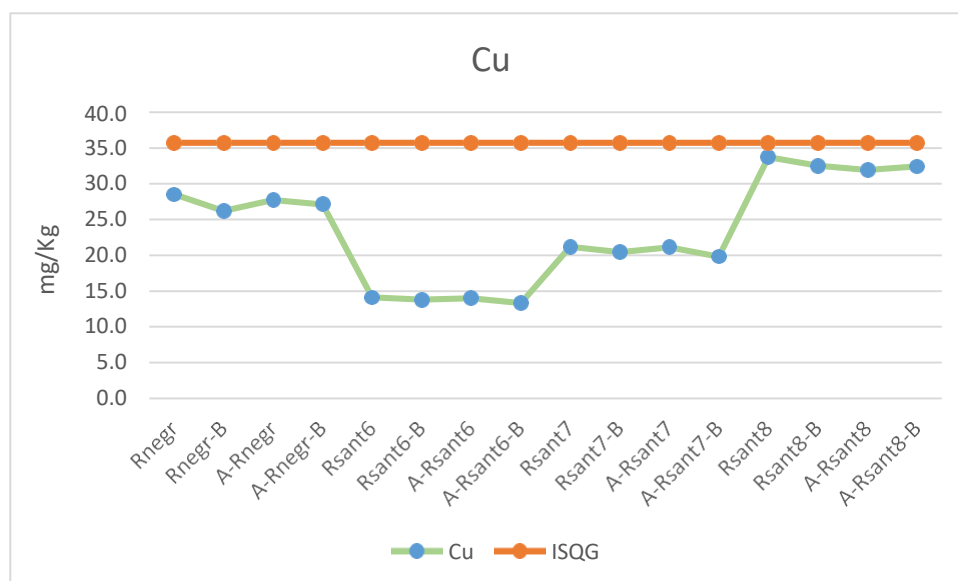
FIGURA 27. Variación del cobre respecto a los años 2013, 2014 y 2019



Los resultados en el presente muestreo (2019) indicaron que los valores del Cu variaron de 14,10 (A-Rsant6-B) a 33,70 mg/kg (Rsant8), con un promedio de 24,38 mg/kg. En ese año, los mayores valores se hallaron en las estaciones asociadas a la Rsant8 y la Rnegr, donde se registran las mayores cantidades de actividades mineras, como pasivos ambientales. Asimismo, los valores obtenidos en la presente investigación estuvieron muy por encima de lo registrado en años anteriores.

Al comparar los resultados con las “Directrices para la protección de la vida acuática” del CCME, tenemos que, en esta investigación, el ISQG es 35,7 mg/kg y el PEL, 197,0 mg/kg. Esto indicaría que las estaciones Rnegr y Rsant8 estuvieron muy cerca del límite del ISQG.

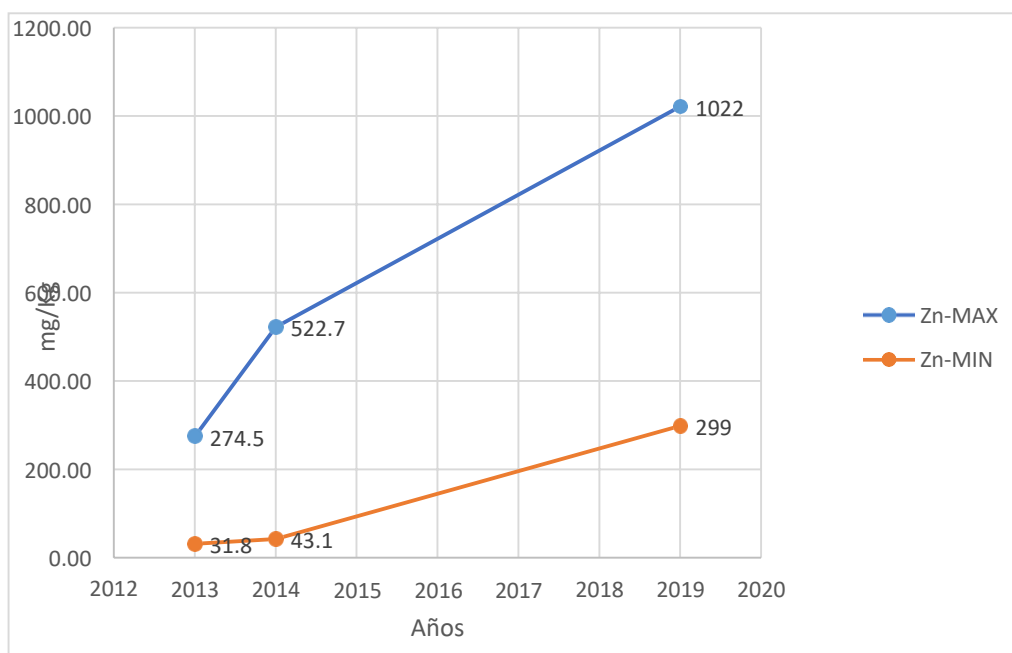
FIGURA 28. Variación del cobre según las estaciones de muestreo



4.2.5. Zinc (Zn)

La distribución del zinc en el sedimento del río Santa, en los años 2013, 2014 y 2019, varió de 31,80 (en 2013) a 1022 mg/kg (en 2019). El mayor valor se registró en la estación Rsant8 en 2019 y el menor valor, en la estación Rnegr en 2013. Los resultados obtenidos en los estudios de la ANA en los años 2013 y 2014 indican que el Zn varió de 31,80 (en 2013) a 522,70 mg/kg (en 2014).

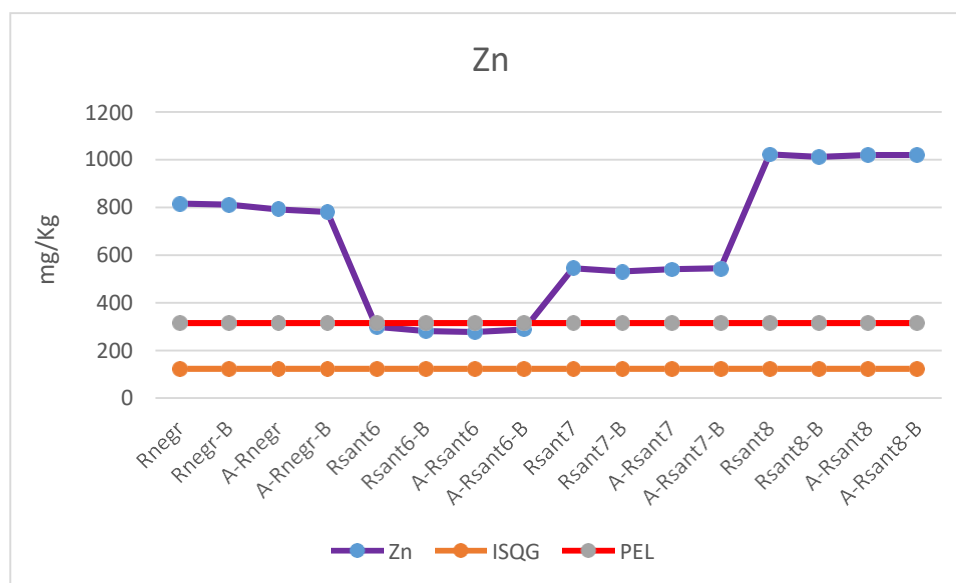
FIGURA 29. Variación del zinc respecto a los años 2013, 2014 y 2019



Los resultados en el presente muestreo (2019) indicaron que los valores del Zn variaron de 299,00 (A-Rsant6) a 1022,00 mg/kg (Rsant8), con un promedio de 661,19 mg/kg. En ese año, los mayores valores se hallaron en las estaciones asociadas a la Rsant8 y la Rnegr, donde se registran las mayores cantidades de actividades mineras, como pasivos ambientales. Asimismo, los valores obtenidos en la presente investigación estuvieron por encima de lo registrado en años anteriores.

Al comparar los resultados con las “Directrices para la protección de la vida acuática” del CCME, tenemos que, en esta investigación, el ISQG es 123 mg/kg y el PEL, 315,0 mg/kg. Esto indicaría que las estaciones Rsant8, Rnegr y Rsant7 superaron el límite PEL.

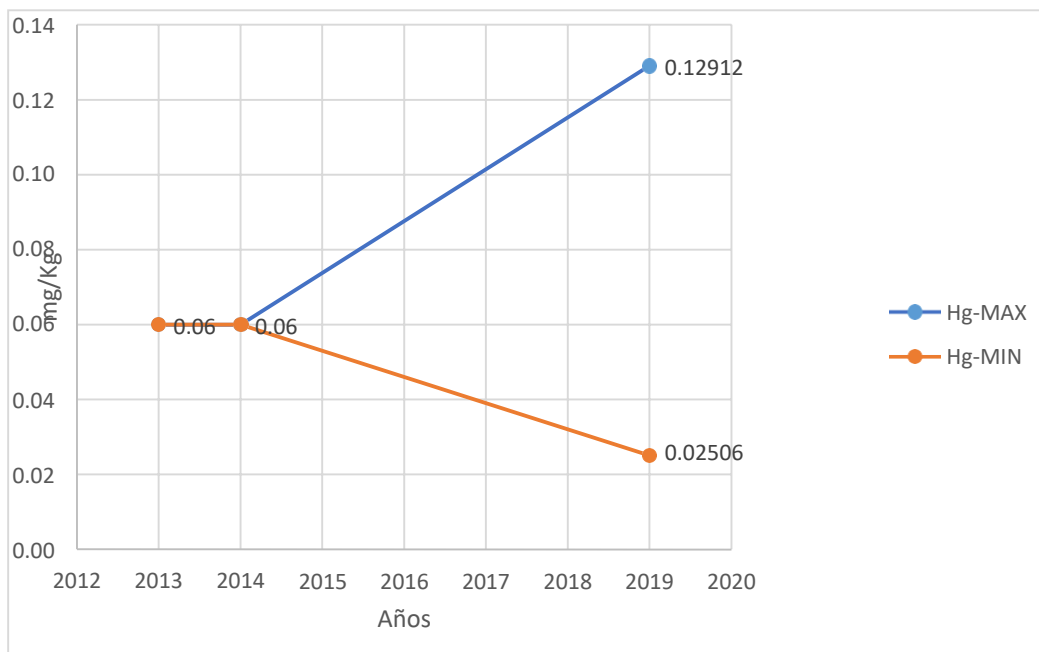
FIGURA 30. Variación del zinc según las estaciones de muestreo



4.2.6. Mercurio (Hg)

La distribución del mercurio en el sedimento del río Santa, en los años 2013, 2014 y 2019, varió de 0,03 mg/kg (en 2019) a 0,13 mg/kg (en 2019). El mayor valor se registró en la estación Rsant8 y el menor valor, en la estación Rsant6, ambos en 2019. Los resultados obtenidos en los estudios de la ANA en los años 2013 y 2014 indican que el Hg tuvo el mismo valor en ambos años (0,06 mg/kg).

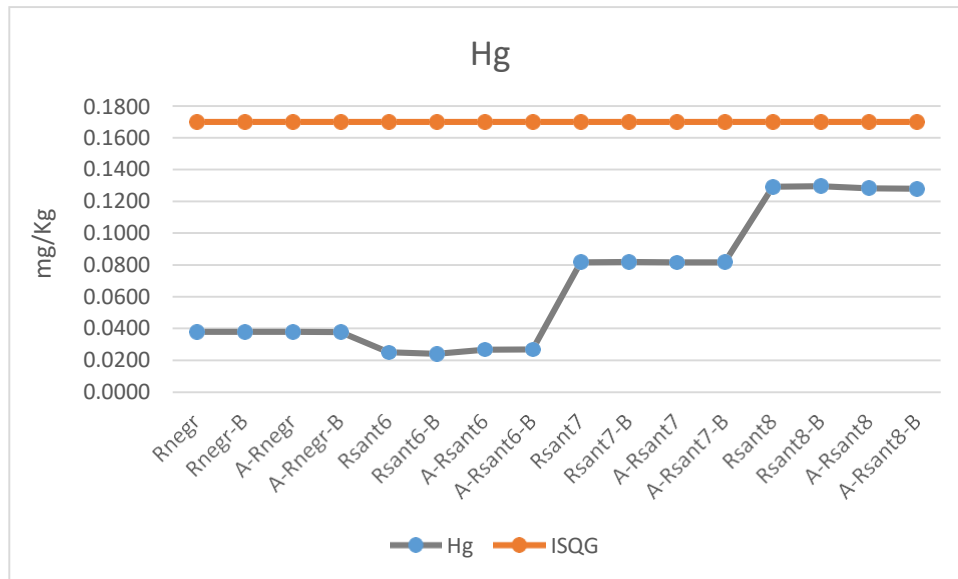
FIGURA 31. Variación del mercurio respecto a los años 2013, 2014 y 2019



Los resultados en el presente muestreo (2019) indicaron que los valores del Hg variaron de 0,02409 (Rsant6-B) a 0,12945 mg/kg (Rsant8-B), con un promedio de 0,06847 mg/kg. En ese año, los valores de las estaciones asociadas a la Rsant8 estuvieron por encima del 0,1 mg/kg; seguidos por los de la estación Rsant7, aunque los de esta última no superaron los 0,1 mg/kg. Los resultados evidencian una tendencia al incremento del Hg hacia aguas abajo. Asimismo, los valores obtenidos en la presente investigación estuvieron por encima de lo registrado en años anteriores, a partir de la estación Rsant7.

Al comparar los resultados con las “Directrices para la protección de la vida acuática” del CCME, tenemos que, en esta investigación, el ISQG es 0,17 mg/kg y el PEL, 315 mg/kg. Esto indicaría que los valores hallados se encuentran por debajo del ISQG.

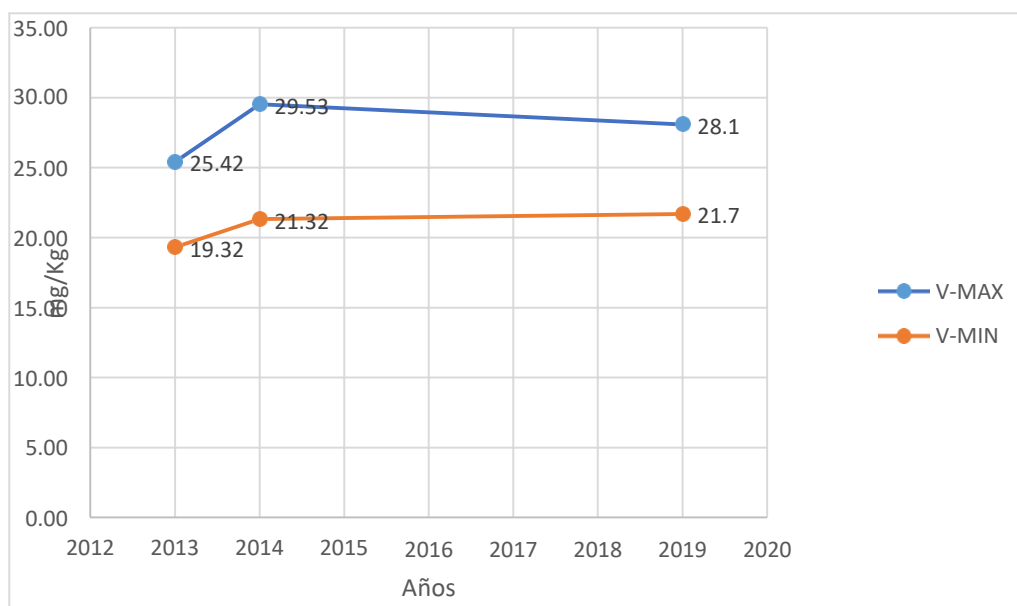
FIGURA 32. Variación del mercurio según las estaciones de muestreo



4.2.7. Vanadio (V)

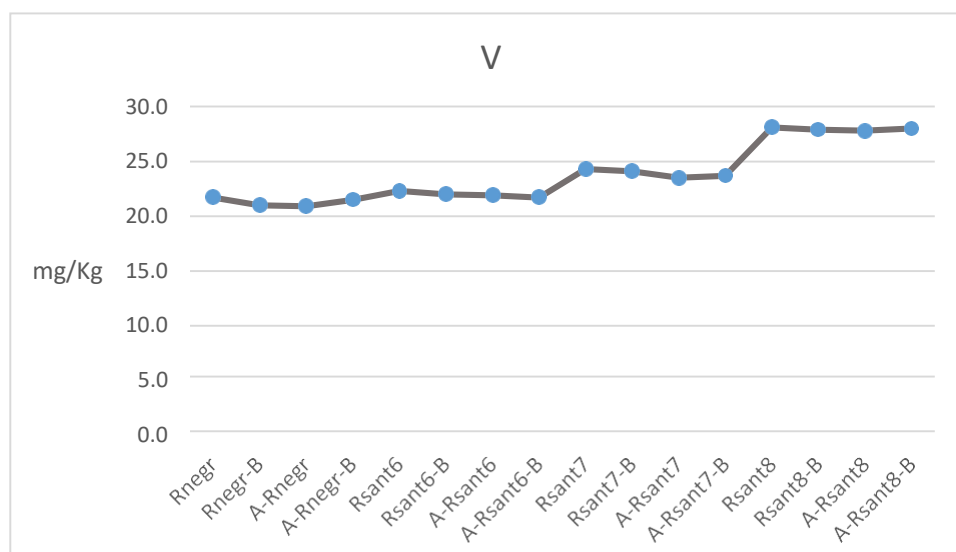
La distribución del vanadio en el sedimento del río Santa, en los años 2013, 2014 y 2019, varió de 19,32 (en 2013) a 29,53 mg/kg (en 2014). El mayor valor se registró en la estación Rnegr en 2014 y el menor valor, en la estación Rsant7 en 2013.

FIGURA 33. Variación del vanadio respecto a los años 2013, 2014 y 2019



Los resultados en el presente muestreo (2019) indicaron que los valores del V variaron de 20,90 (A-Rnegr) a 28,10 mg/kg (Rsant8), con un promedio de 23,78 mg/kg. En ese año, solo las estaciones asociadas a la Rsant8 tuvieron los mayores valores y se evidenció una tendencia al incremento del V hacia aguas abajo. Asimismo, los valores obtenidos en la presente investigación estuvieron por debajo del promedio de los valores registrados en años anteriores.

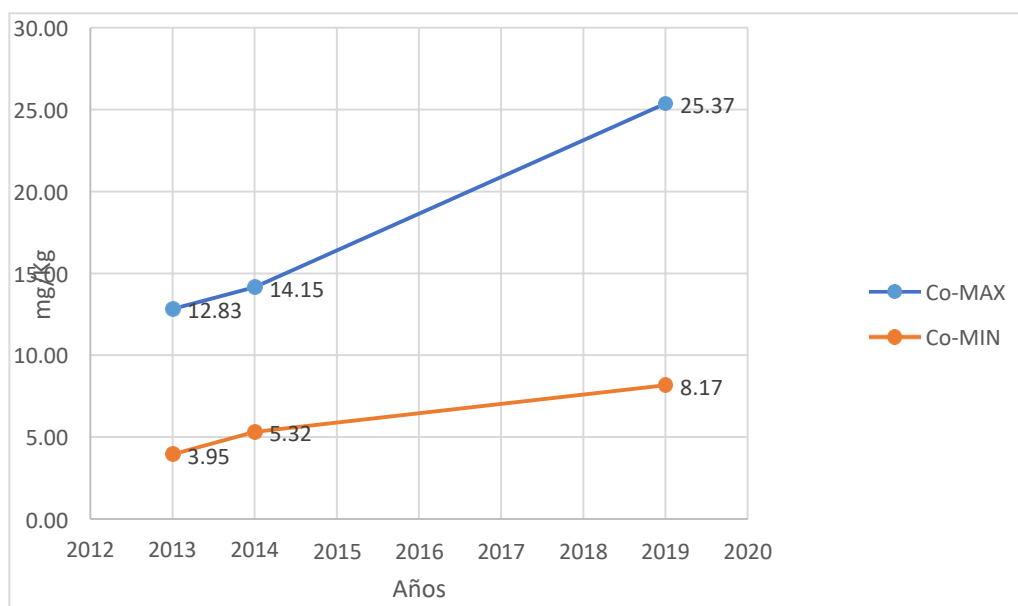
FIGURA 34. Variación del vanadio según las estaciones de muestreo



4.2.8. Cobalto (Co)

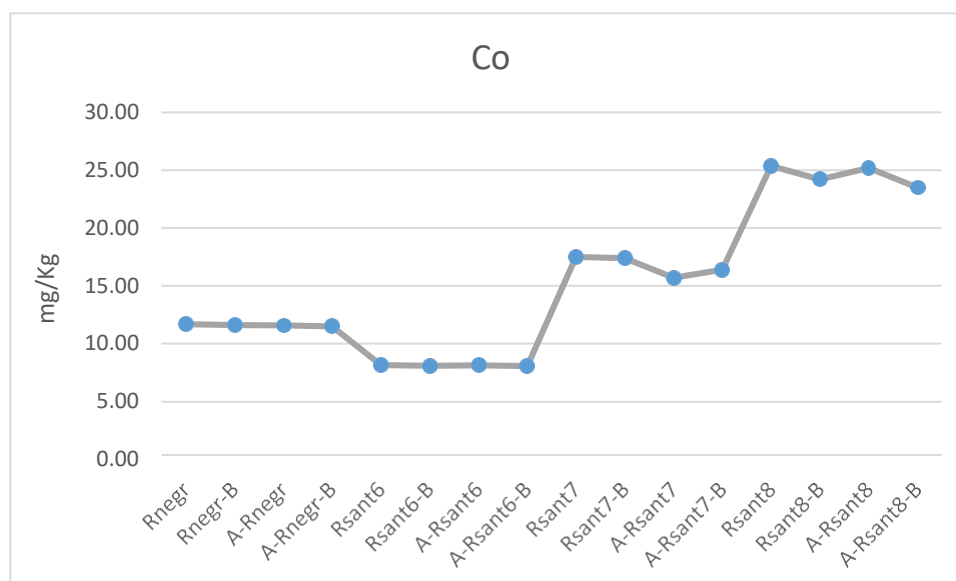
La distribución del cobalto en el sedimento del río Santa, en los años 2013, 2014 y 2019 varió de 3,95 (en 2013) a 25,37 mg/kg (en 2019). El mayor valor se registró en la estación Rsant8 en 2019 y el menor valor, en la estación Rsant6 en 2013. Los resultados obtenidos en los estudios de la ANA en los años 2013 y 2014 variaron de 3,95 mg/kg (en 2013) a 14,15 mg/kg (en 2014).

FIGURA 35. Variación del cobalto respecto a los años 2013, 2014 y 2019



Los resultados en el presente muestreo (2019) indicaron que los valores del Co variaron de 8,09 (A-Rsant6) a 25,37 mg/kg (Rsant8), con un promedio de 15,26 mg/kg. En ese año, las estaciones asociadas a la Rsant8 tuvieron los mayores valores y se mostró una tendencia al incremento desde la estación Rsant7 hasta la Rsant8. Asimismo, los mayores valores obtenidos en la presente investigación estuvieron por encima de lo registrado en años anteriores.

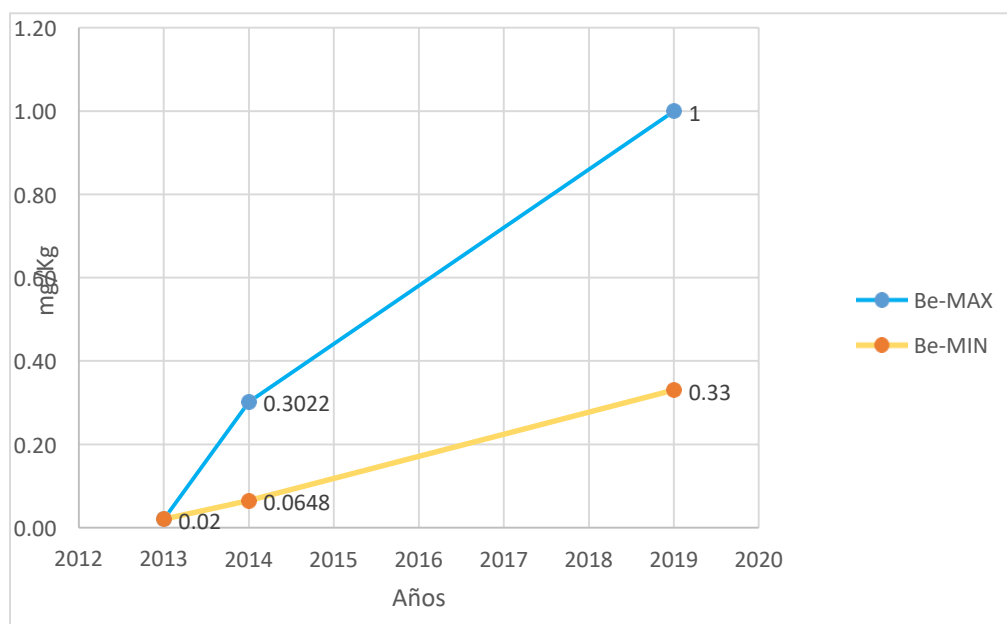
FIGURA 36. Variación del cobalto según las estaciones de muestreo



4.2.9. Berilio (Be)

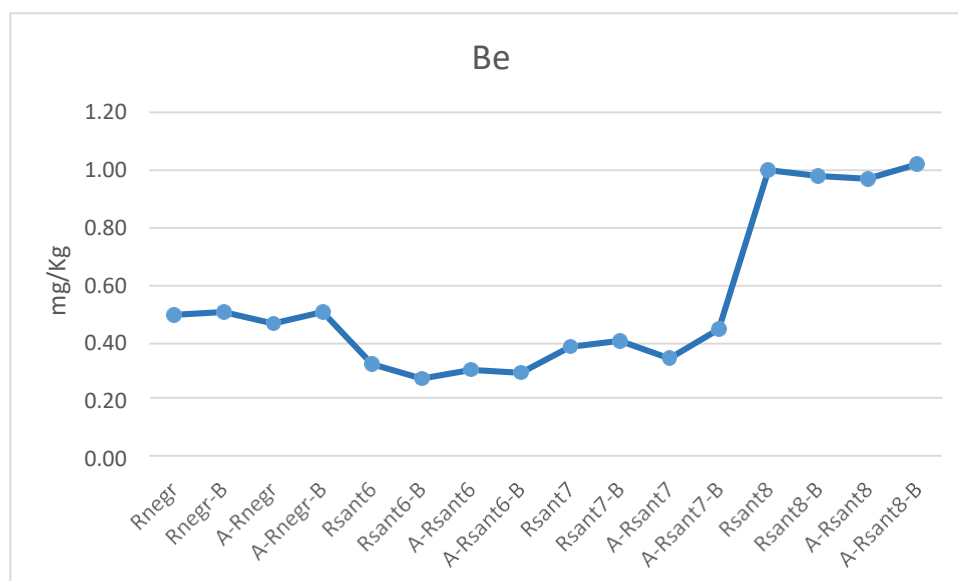
La distribución del berilio en el sedimento del río Santa, en los años 2013, 2014 y 2019, varió de 0,02 (en 2013) a 1,00 mg/kg (en 2019). El mayor valor se registró en la estación Rsant8 en 2019, mientras que los menores valores se hallaron en todas las estaciones de muestreo de 2013. Los resultados obtenidos en los estudios de la ANA en los años 2013 y 2014 variaron de 0,02 (en 2013) a 0,30 mg/kg (en 2014).

FIGURA 37. Variación del berilio respecto a los años 2013, 2014 y 2019



Los resultados en el presente muestreo (2019) indicaron que los valores del Be variaron de 0,28 (Rsant6) a 1,02 mg/kg (A-Rsant8-B), con un promedio de 0,55 mg/kg. En ese año, solo las estaciones asociadas a la Rsant8 tuvieron los mayores valores. Asimismo, los mayores valores obtenidos en la presente investigación estuvieron por encima de lo registrado en años anteriores.

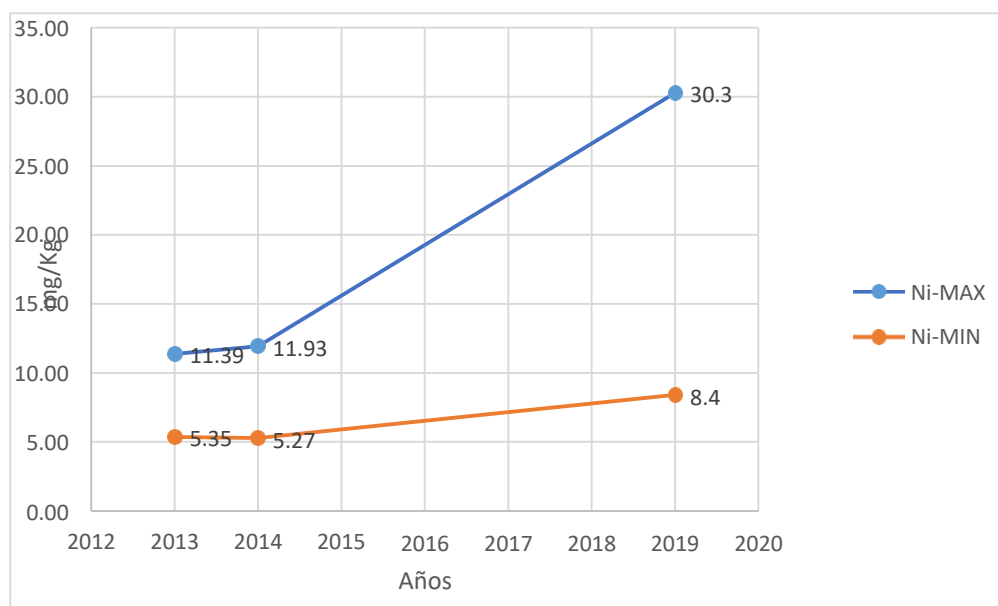
FIGURA 38. Variación del berilo según las estaciones de muestreo



4.2.10. Níquel (Ni)

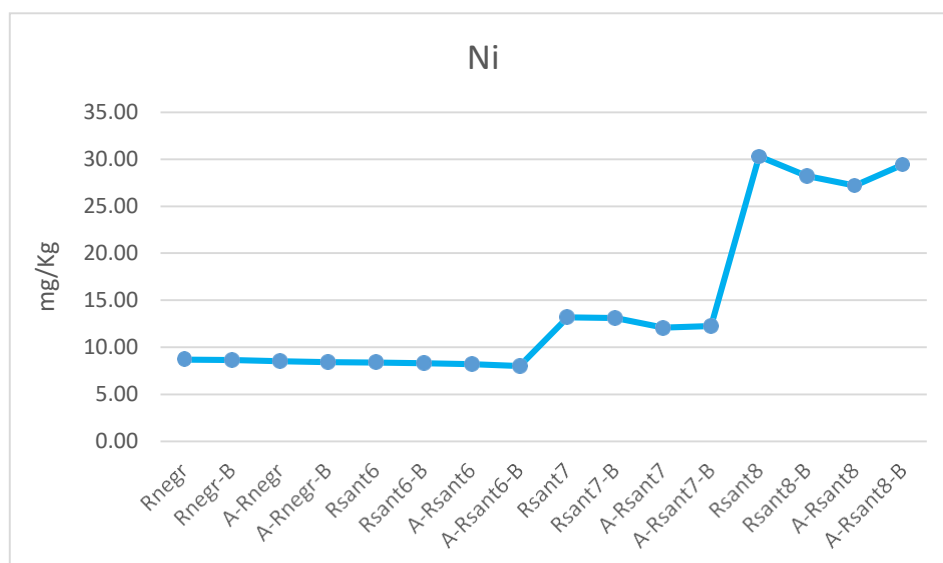
La distribución del níquel en el sedimento del río Santa, en los años 2013, 2014 y 2019, varió de 5,27 (en 2014) a 30,30 mg/kg (en 2019). El mayor valor se registró en la estación Rsant8 en 2019 y el menor valor, en la estación Rnegr en 2013. Los resultados obtenidos en los estudios de la ANA en los años 2013 y 2014 indican que el Ni varió de 5,27 (en 2014) a 11,93 mg/kg (en 2014).

FIGURA 39. Variación del níquel respecto a los años 2013, 2014 y 2019



Los resultados en el presente muestreo (2019) indicaron que los valores del Ni variaron de 8,02 (A-Rsant6-B) a 30,30 mg/kg (Rsant8), con un promedio de 14,57 mg/kg. En ese año, solo las estaciones asociadas a la Rsant8 tuvieron los mayores valores y se evidenció una tendencia al incremento del Ni hacia aguas abajo. Asimismo, los mayores valores obtenidos en la presente investigación estuvieron por encima de lo registrado en años anteriores.

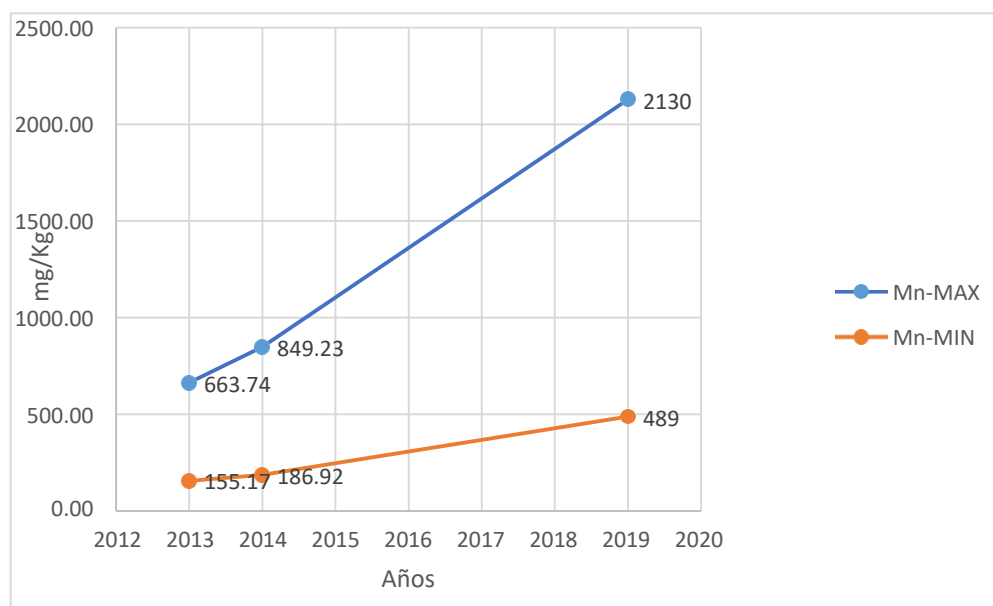
FIGURA 40. Variación del níquel según las estaciones de muestreo



4.2.11. Manganeso (Mn)

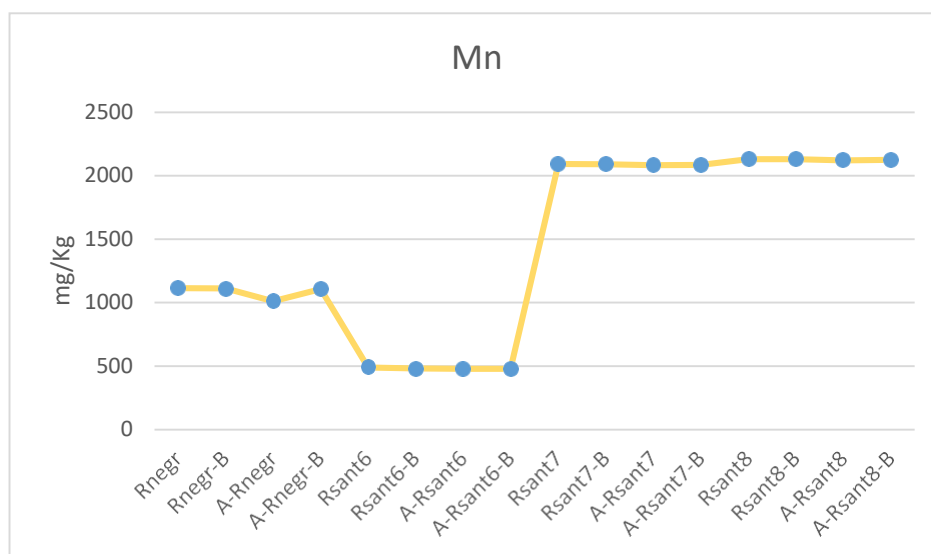
La distribución del manganeso en el sedimento del río Santa, en los años 2013, 2014 y 2019, varió de 155,17 (en 2013) a 2130,00 mg/kg (en 2019). El mayor valor se registró en la estación Rsant8 en 2019 y el menor valor, en la estación Rnegr en 2013. Los resultados obtenidos en los estudios de la ANA en los años 2013 y 2014 indican que el Mn varió de 155,17 (en 2013) a 849,23 mg/kg (en 2014).

FIGURA 41. Variación del manganeso respecto a los años 2013, 2014 y 2019



Los resultados en el presente muestreo (2019) indicaron que los valores del Mn variaron de 477 (A-Rsant6) a 2130 mg/kg (Rsant8-B), con un promedio de 1444,88 mg/kg. Las estaciones asociadas a la Rsant8 y la Rsant7 registraron valores similares y mayores a las demás estaciones. Asimismo, los mayores valores obtenidos en la presente investigación estuvieron por encima de lo registrado en años anteriores.

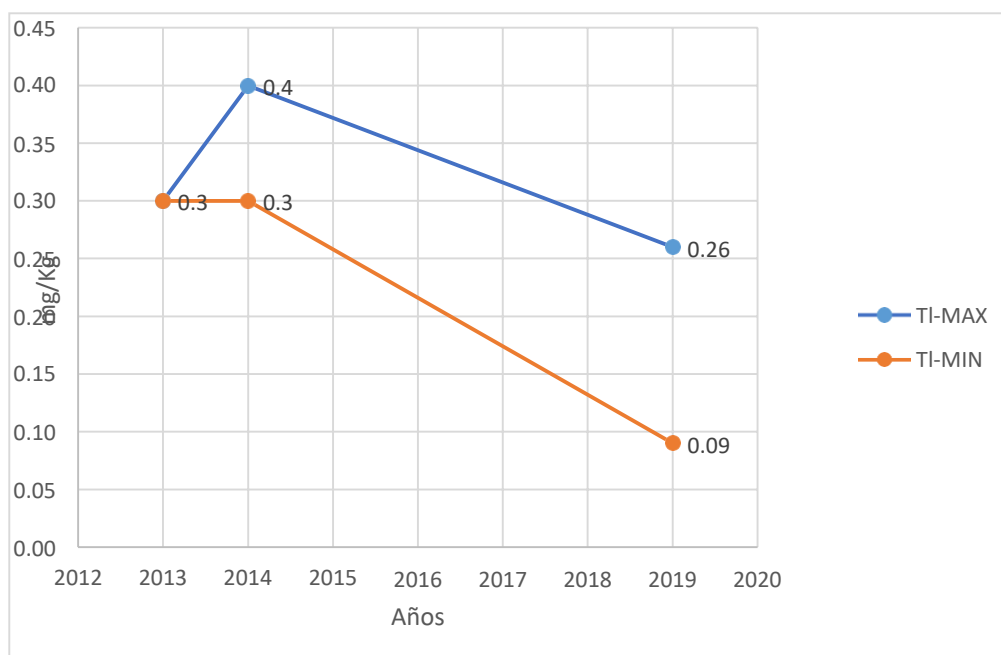
FIGURA 42. Variación del manganeso según las estaciones de muestreo



4.2.12. Talio (Tl)

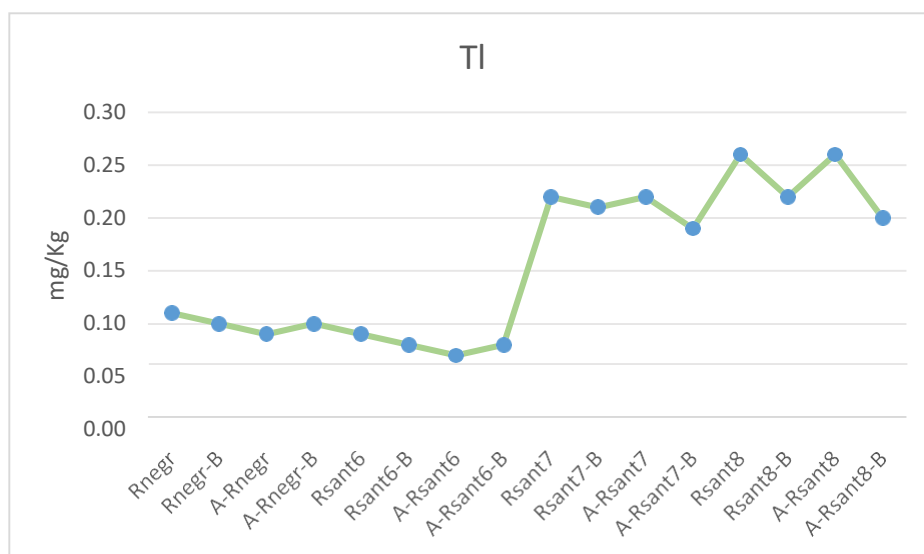
La distribución del talio en el sedimento del río Santa, en los años 2013, 2014 y 2019, varió de 0,09 (en 2019) a 0,40 mg/kg (en 2014). El mayor valor se registró en la estación Rsant7 en 2014 y el menor valor, en la estación Rsant6 en 2019. Los resultados obtenidos en los estudios de la ANA en los años 2013 y 2014 indican que el Tl varió de 0,30 (en 2013 y 2014) a 0,40 mg/kg (en 2014).

FIGURA 43. Variación del talio respecto a los años 2013, 2014 y 2019



Los resultados en el presente muestreo (2019) indicaron que los valores del TI variaron de 0,07 (A-Rsant6) a 0,26 mg/kg (A-Rsant8), con un promedio de 0,16 mg/kg. En ese año, las estaciones asociadas a la Rsant8 y Rsant7 tuvieron los mayores valores y se evidenció una tendencia al incremento del TI hacia aguas abajo. Asimismo, los valores obtenidos en la presente investigación estuvieron por debajo de lo registrado en años anteriores.

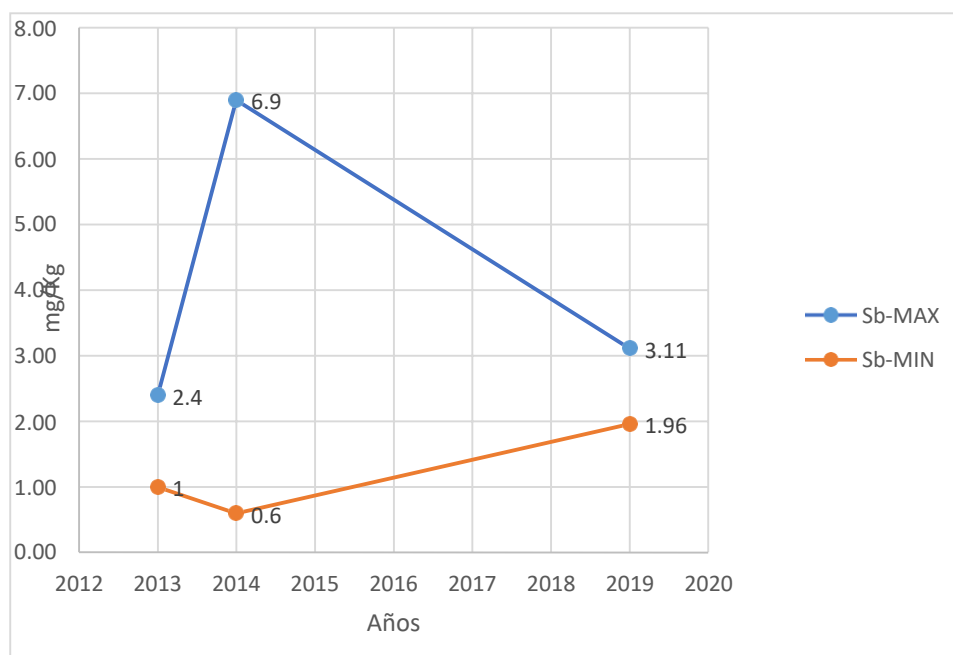
FIGURA 44. Variación del talio según las estaciones de muestreo



4.2.13. Antimonio (Sb)

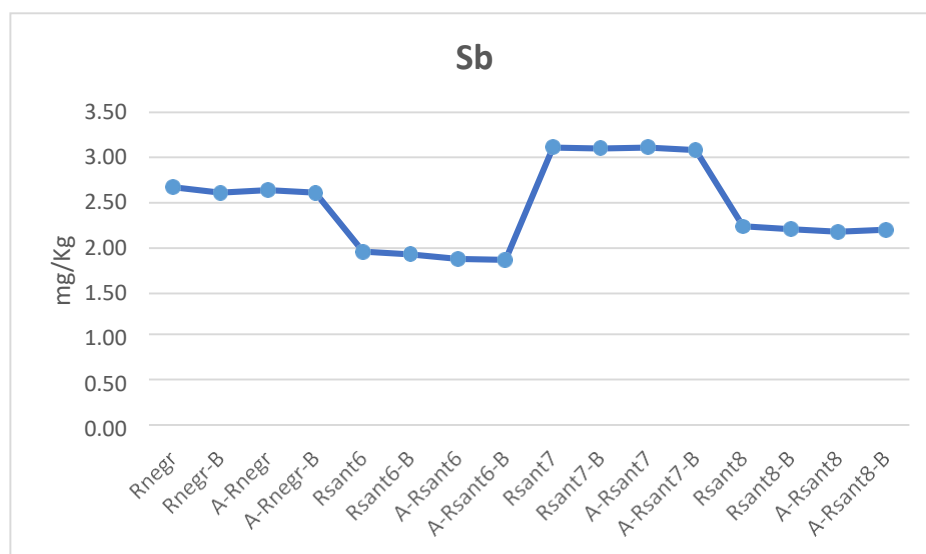
La distribución del antimonio en el sedimento del río Santa, en los años 2013, 2014 y 2019, varió de 0,60 (en 2014) a 6,90 mg/kg (en 2014). El mayor valor se registró en la estación Rsant7 y el menor valor, en la estación Rnegr.

FIGURA 45. Variación del antimonio respecto a los años 2013, 2014 y 2019



Los resultados en el presente muestreo (2019) indicaron que los valores del Sb variaron de 1,87 (A-Rsant6-B) a 3,11 mg/kg (Rsant7), con un promedio de 2,46 mg/kg. Las estaciones asociadas a la Rsant7 y la estación Rnegr registraron los mayores valores. Asimismo, los valores obtenidos en la presente investigación estuvieron por debajo de lo registrado en años anteriores.

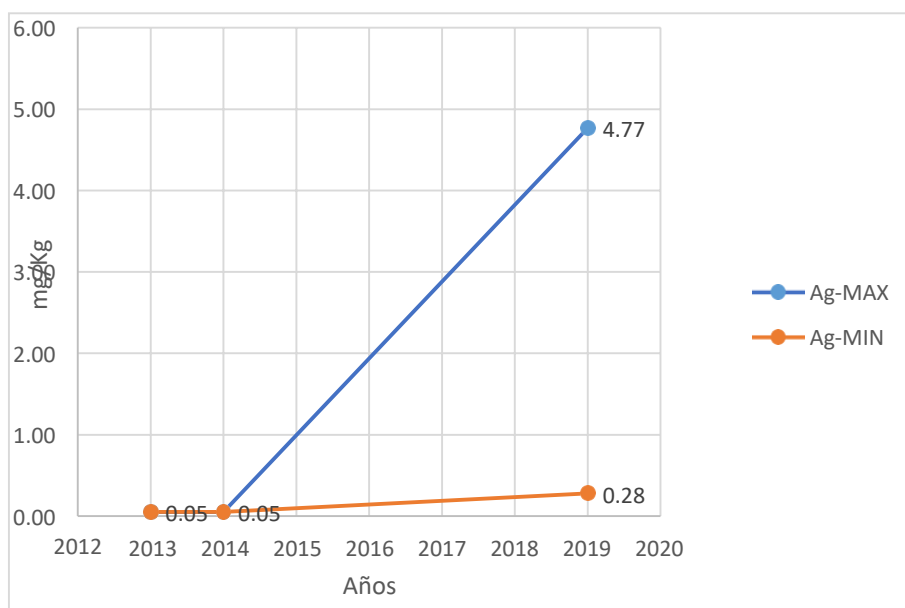
FIGURA 46. Variación del antimonio según las estaciones de muestreo



4.2.14. Plata (Ag)

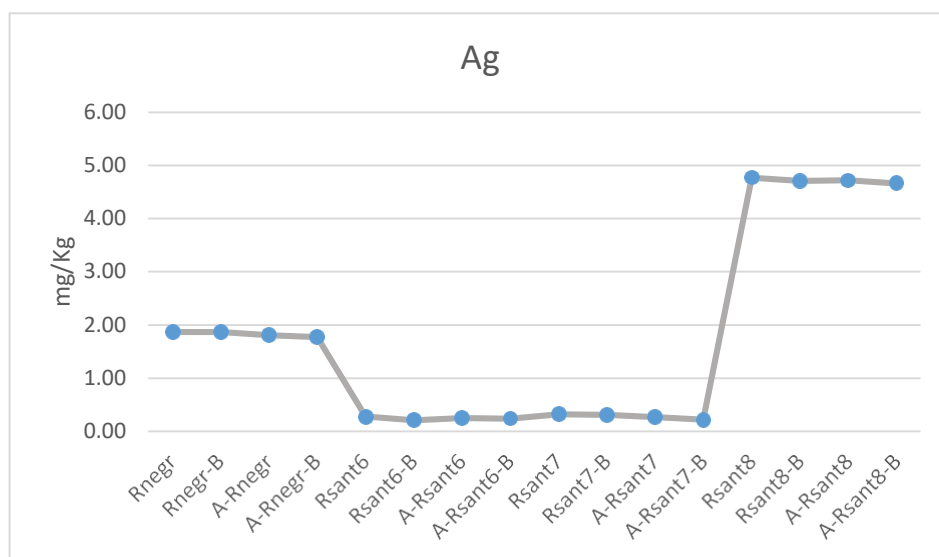
La distribución de la plata en el sedimento del río Santa, en los años 2013, 2014 y 2019, varió de 0,05 (en 2013 y 2014) a 4,77 mg/kg (en 2019). El mayor valor se registró en la estación Rsant8 en 2019 y los menores valores, en los años 2013 y 2014.

FIGURA 47. Variación de la plata respecto a los años 2013, 2014 y 2019



Los resultados en el presente muestreo (2019) indicaron que los valores de la Ag variaron de 0,21 (Rsant6-B) a 4,77 mg/kg (Rsant8), con un promedio de 1,77 mg/kg. En ese año, los mayores valores se hallaron en las estaciones asociadas a la Rsant8 y la Rnegr. Asimismo, los valores obtenidos en la presente investigación estuvieron por encima de lo registrado en años anteriores.

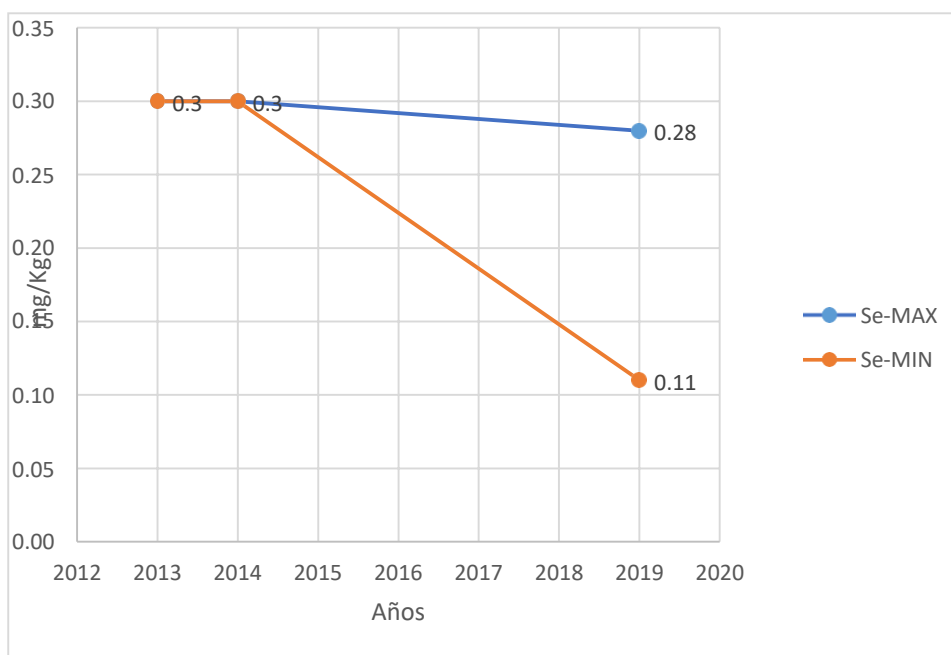
FIGURA 48. Variación de la plata según las estaciones de muestreo



4.2.15. Selenio (Se)

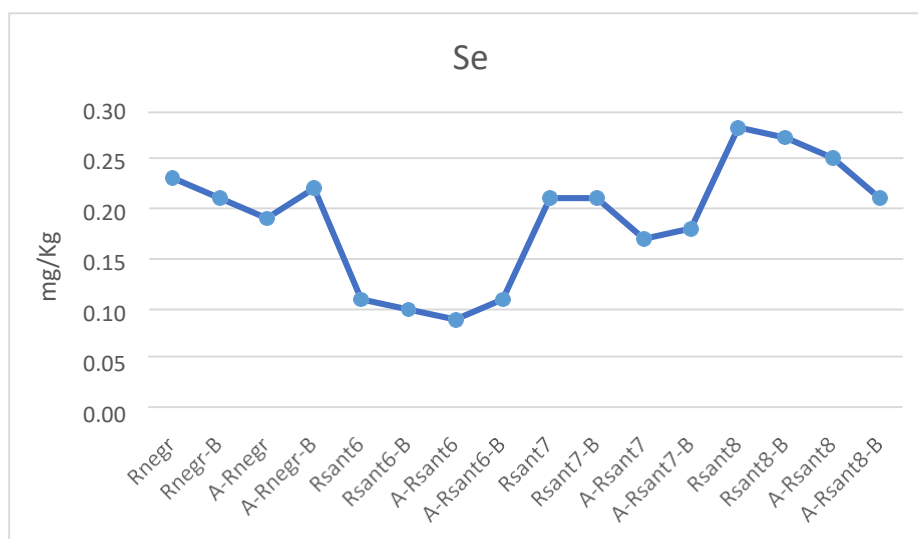
La distribución del selenio en el sedimento del río Santa, en los años 2013, 2014 y 2019, varió de 0,11 (en 2019) a 0,30 mg/kg (en 2013 y 2014). Los mayores valores se registraron en todas las estaciones en 2013 y 2014, mientras que el menor valor, en la estación Rsant6 en 2019.

FIGURA 49. Variación del selenio respecto a los años 2013, 2014 y 2019



Los resultados en el presente muestreo (2019) indicaron que los valores del Se variaron de 0,09 (A-Rsant6) a 0,28 mg/kg (Rsant8), con un promedio de 0,19 mg/kg. En ese año, los mayores valores se hallaron en las estaciones asociadas a la Rsant8. Asimismo, los valores obtenidos en la presente investigación estuvieron por debajo de lo registrado en años anteriores.

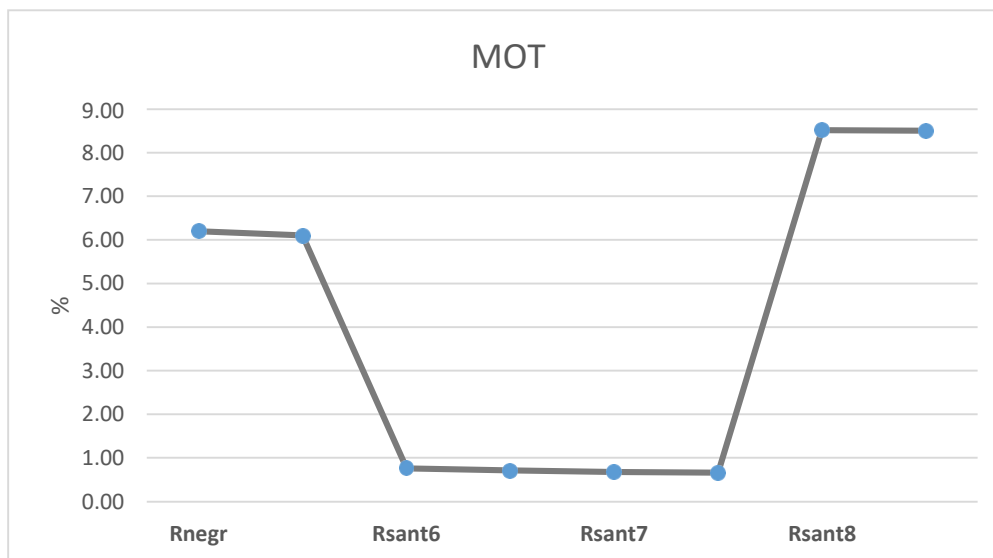
FIGURA 50. Variación del selenio según las estaciones de muestreo



4.3. Materia orgánica total (MOT)

La Materia Orgánica Total (MOT), como su nombre lo indica proviene de origen orgánico, pudiendo ser animal o vegetal; este componente se encuentra adherida a los sustratos blandos del fondo del río. Según el muestreo, su distribución varió de 0,66 (Rsant7-B) a 8,52 % (Rsant8), con un promedio de 4.02 %. Las mayores concentraciones de la MOT se registraron en las estaciones Rsant8 y Rnegr, mientras que los menores valores en las estaciones Rsant6 y Rsant7 así como en sus réplicas. Cabe señalar que los mayores valores donde se halló el MOT tienen como compuesto de sustrato el fango, mientras que los menores valores hallados en la investigación (Rsant6 y Rsant7) fue de composición arena, esto podría indicar que el fango tiene la mayor capacidad de atraer no solo compuestos orgánicos.

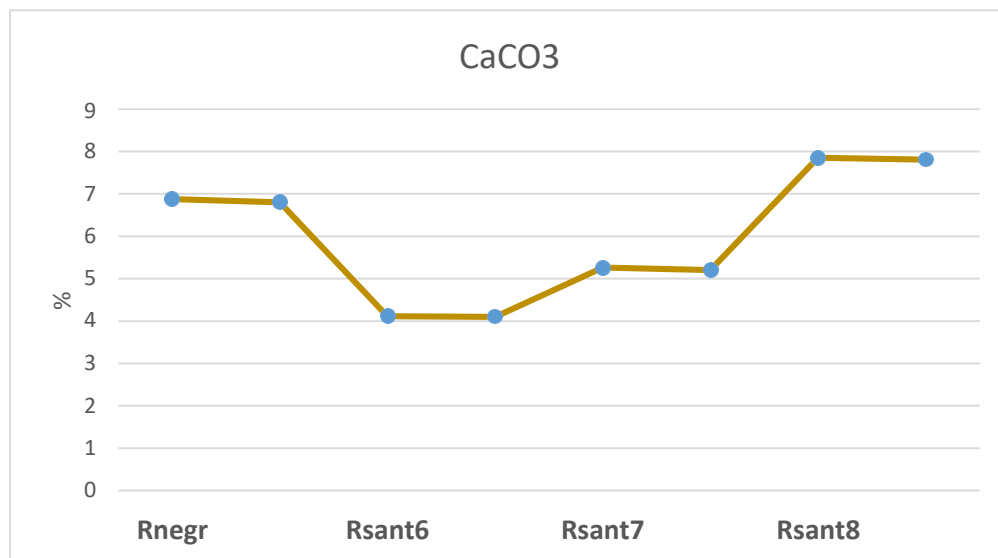
FIGURA 51. Variación de la MOT según las estaciones de muestreo



4.3.1. Carbonatos (% CaCO₃)

La distribución de los carbonatos en el sedimento del río Santa, fue de manera proporcional al MOT; registrando los menores valores en las estaciones Rsant6 y Rsant7 (4,10 y 5.20 %) y las mayores concentraciones en las estaciones Rsant8 y Rnegr 7.85 y 6.88%, la distribución se puede observar en la siguiente figura.

FIGURA 52. Variación de los carbonatos según las estaciones de muestreo



4.4. Macroinvertebrados bentónicos

Los resultados obtenidos en el muestreo indicaron que las estaciones A-Rnegr (9A) y Rnegr (9B) fueron las que registraron el mayor número de especies (S) de macroinvertebrados bentónicos. Sin embargo, la diversidad (H') más representativa se registró en la estación A-Rnegr (9A). Por otro lado, la estación Rnegr (E9B) presentó la mayor abundancia (492 ind.), en comparación con las demás estaciones. Las estaciones A-Rsant6 y Rsant6 (E6A y E6B) fueron las que registraron el menor número de especies, siendo las menos representativas en términos de biodiversidad.

TABLA 6. Índices ecológicos de los macroinvertebrados bentónicos según las estaciones de muestreo

ESTACIÓN	ÍNDICES ECOLÓGICOS					
	Especies (S)	Abundancia	Margalef (d)	Uniformidad (J')	Diversidad (H')	Predominio (λ)
A-Rnegr = 9A	12	369	1,86	0,60	2,15	0,36
Rnegr = E9B	11	492	1,61	0,44	1,52	0,57
A-Rsant6 = E6A	3	397	0,33	0,68	1,09	0,52
Rsant6 = E6B	5	307	0,70	0,50	1,17	0,50
A-Rsant7 = E7A	11	400	1,67	0,52	1,78	0,44
Rsant7 = E7B	6	328	0,86	0,55	1,42	0,52
A-Rsant8 = E8A	10	408	1,50	0,50	1,67	0,51
Rsant8 = E8B	9	312	1,39	0,52	1,64	0,50

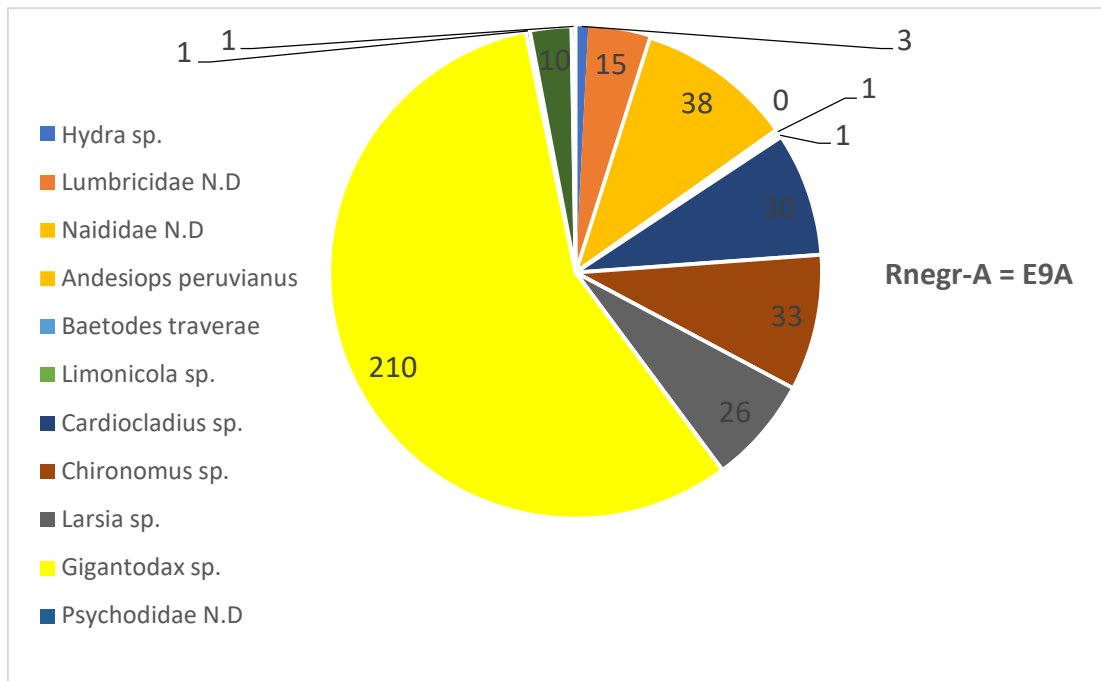
Otro factor clave en el análisis del componente biológico (macroinvertebrados bentónicos) es la abundancia por especie según estación de muestreo, el cual pueden indicar el menor número de especie por estación. Custodio Villanueva y Chanamé Zapata (2016) mencionan que las actividades antrópicas presionan los ecosistemas y alteran la diversidad y abundancia de los organismos acuáticos. Así, al comparar los valores relativos a estos organismos con la *Guía para el estudio de los macroinvertebrados* de Roldán Pérez (1996), se puede dilucidar el estado de la ecología de cada estación de muestreo.

A continuación, se presentan los resultados por cada estación de muestreo y su réplica:

4.4.1. E9 y E9B

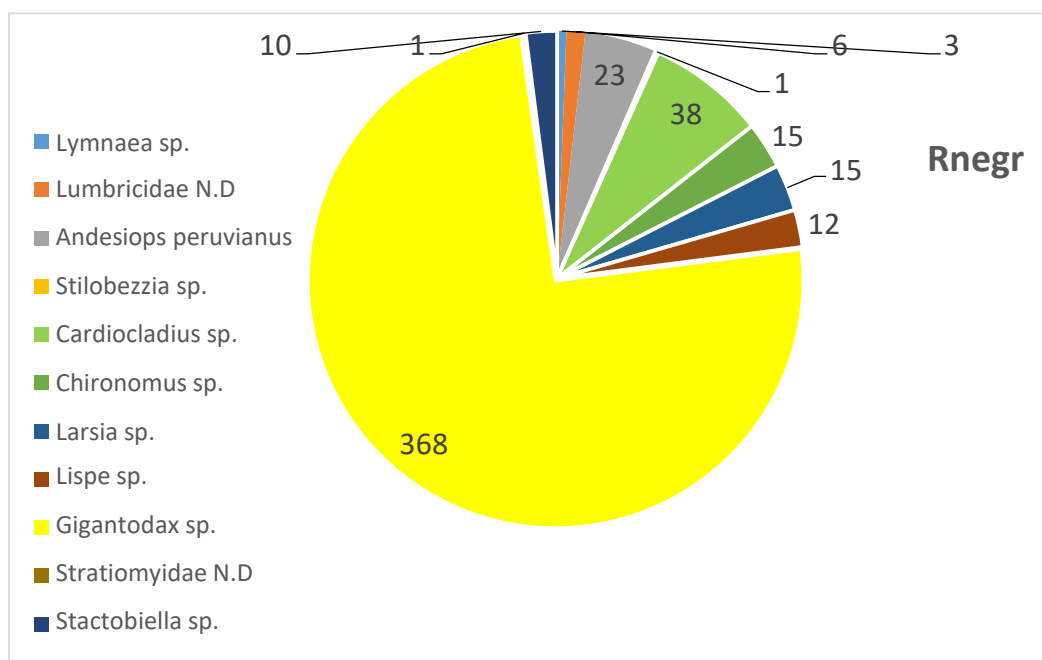
En la estación **Rnegr = E9**, predomina la especie *Gigantodax sp.*, con 210 individuos, seguido por *Naididae ND* y *Chironomus sp.*

FIGURA 53. Variación de los macroinvertebrados bentónicos en la estación Rnegr-A



En la estación **Rnegr-B = E9B** (réplica), predomina la especie *Gigantodax sp.*, con 368 individuos, seguido por *Cardiocladius* y *Andesiops peruvianus*.

FIGURA 54. Variación de los macroinvertebrados bentónicos en la estación Rnegr

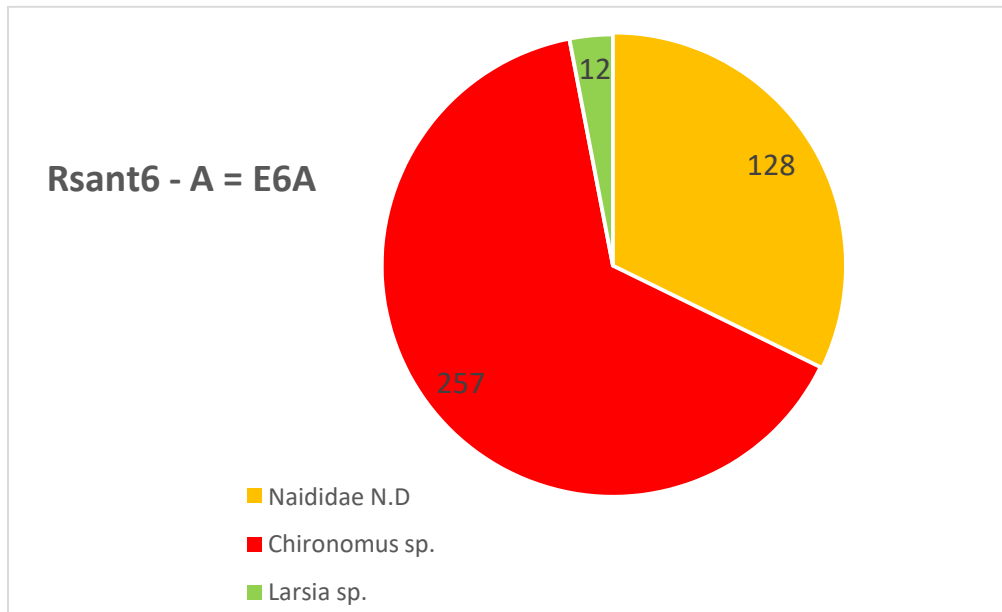


Las estaciones E9A y E9B, asociadas a la estación Rnegr, fueron las que presentaron mayor número de especies; por lo tanto, son las más biodiversas. De acuerdo con la *Guía* de Roldán Pérez (1996), los individuos de la especie *Gigantodax*, que pertenecen a la familia Simuliidae de la clase Insecta, habitan en aguas con corrientes muy oxigenadas y su presencia podría indicar relación con aguas oligotróficas (bajas en nutrientes) y de poca perturbación. De otro lado, las especies *Naididae*, que pertenecen a la familia Naididae de la clase Oligochaeta, son las que les siguen en menor cantidad y, por lo general, habitan en aguas con algún tipo de perturbación. Por último, la especie *Cardiocladus*, perteneciente a la familia Chironomidae, habita en fondos fangosos y en arena con abundante materia orgánica en descomposición.

4.4.2. E6A y E6B

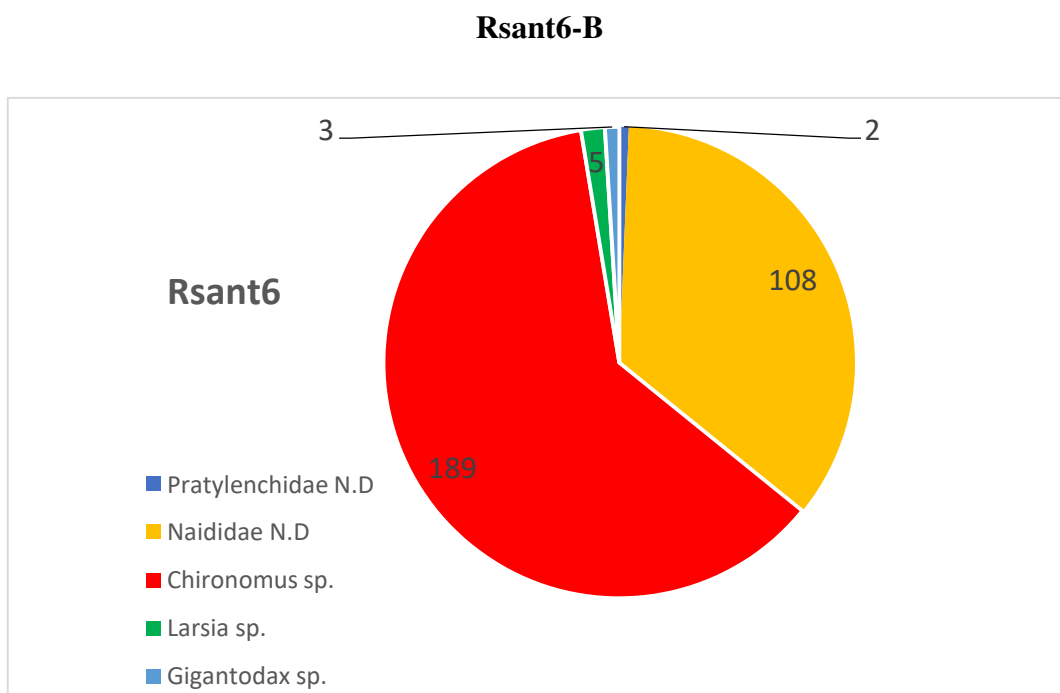
En la estación **Rsant6 = E6**, predomina la especie *Chironomus sp.*, con 257 individuos, seguido por *Naididae ND* y *Larsia sp.*

FIGURA 55. Variación de los macroinvertebrados bentónicos en la estación Rsant6-A



En la estación **Rsant6-B = E6B** (réplica), predomina la especie *Chironomus sp.*, con 189 individuos, seguido por *Naididae ND* y *Larsia sp.*

FIGURA 56. Variación de los macroinvertebrados bentónicos según la estación

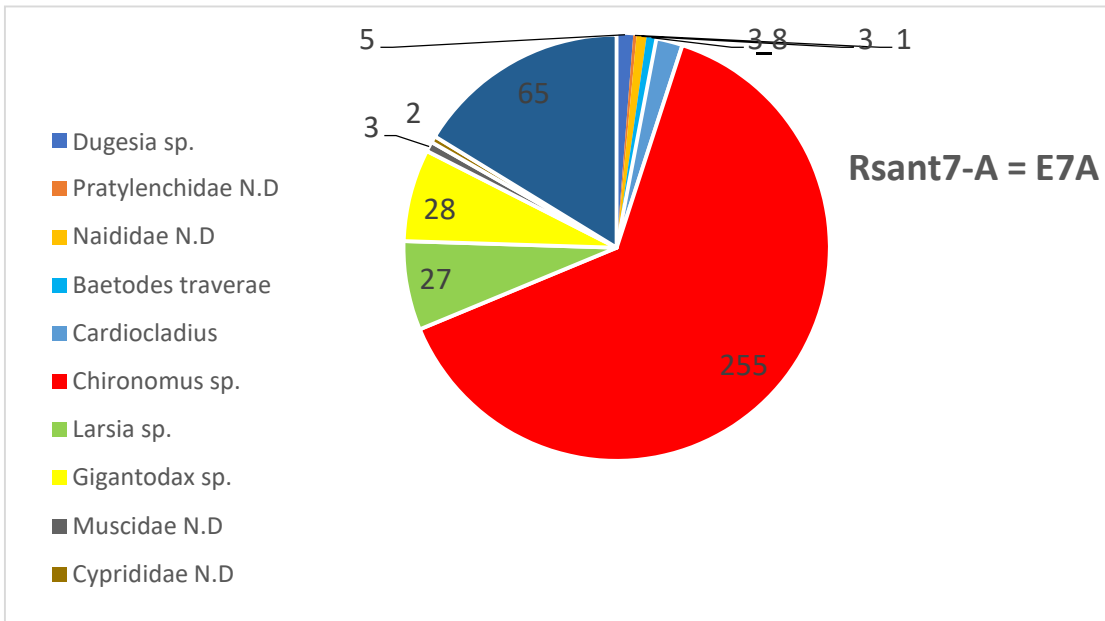


Las estaciones E6A y E6B, asociadas a la estación Rsant6, fueron las que presentaron menor número de especies; por lo tanto, son las menos biodiversas. De acuerdo con la *Guía* de Roldán Pérez (1996), la especie *Chironomus sp.*, que pertenece a la familia Chironomidae de la clase Insecta, habita en fondos fangosos y en arena con abundante materia orgánica en descomposición, y su presencia podría indicar relación con aguas mesoeutróficas (moderado nivel de productividad). De otro lado, las especies *Naididae*, que pertenecen a la familia Naididae de la clase Oligochaeta, son las que le siguen en menor cantidad y, por lo general, habitan en condiciones o aguas con algún tipo de perturbación.

4.4.3. E7A y E7B

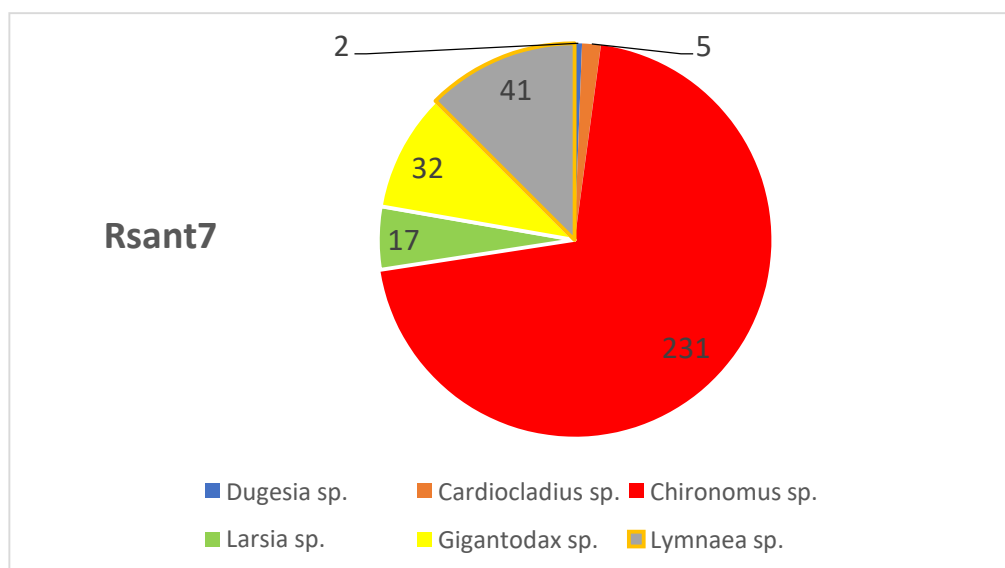
En la estación **Rsant7 = E7 (E7A)**, predomina la especie *Chironomus sp.*, con 255 individuos, seguido por *Lymnaea sp.*, y *Gigantodax*.

FIGURA 57. Variación de los macroinvertebrados bentónicos según la estación Rsant7-A



En la estación **Rsant7-B = E7B** (réplica), predomina la especie *Chironomus sp.*, con 231 individuos, seguido por *Lymnaea* y *Gigantodax*.

FIGURA 58. Variación de los macroinvertebrados bentónicos según la estación Rsant7-B

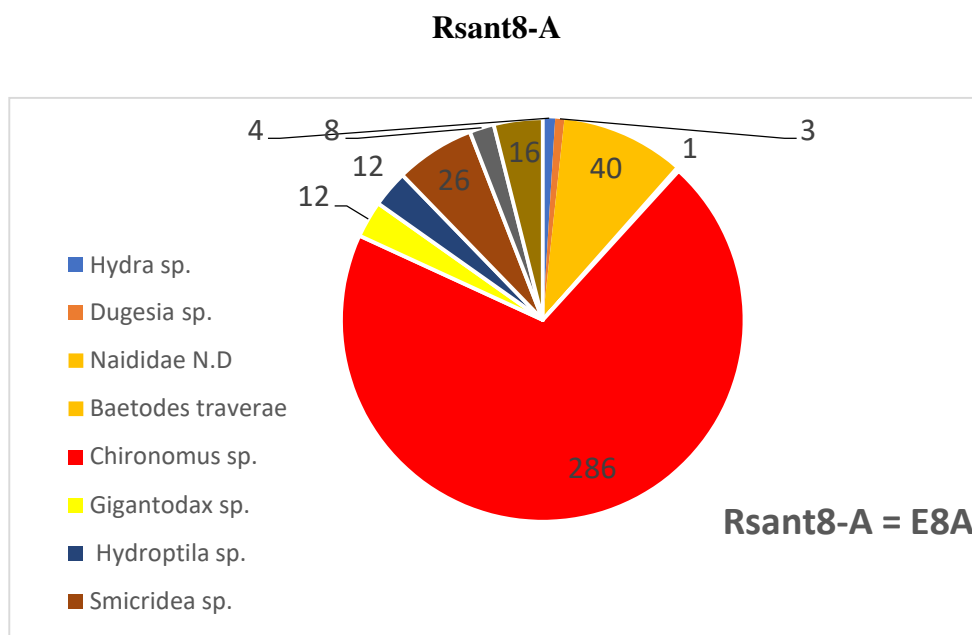


Las estaciones E7A y E7B están asociadas a la estación Rsant7. De estas, la E7A fue una de las estaciones (individuales) que presentó un número alto de especies, a diferencia de su réplica. De acuerdo con la *Guía* de Roldán Pérez (1996), la especie predominante es la *Chironomus sp.*, perteneciente a la familia Chironomidae de la clase Insecta, la cual habita en fondos fangosos y en arena con abundante materia orgánica en descomposición, y su presencia podría indicar relación con aguas mesoeutróficas (moderado nivel de productividad). De otro lado, las especies *Lymnaea sp.*, que pertenecen a la familia Lymnaeidae de la clase Gastropoda, viven en todo tipo de agua y resisten cierto grado de contaminación.

4.4.4. E8A y E8B

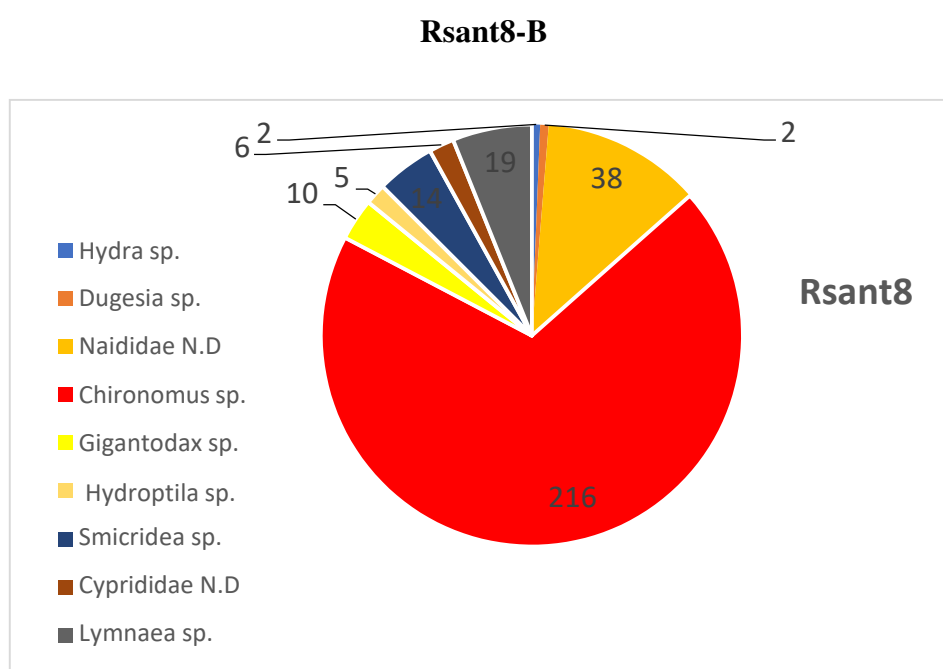
En la estación **Rsant8 = E8A**, predomina la especie *Chironomus sp.*, con 286 individuos, seguido por *Naididae ND* y *Smicridea sp.*

FIGURA 59. Variación de los macroinvertebrados bentónicos según la estación



En la estación **Rsant8-B = E8B** (réplica), predomina la especie *Chironomus sp.*, con 216 individuos, seguido por *Naididae ND* y *Lymnaea*.

FIGURA 60. Variación de los macroinvertebrados bentónicos según la estación



Las estaciones E8A y E8B, asociadas a la estación Rsant8, tuvieron entre nueve y diez especies en cada una de ellas. A diferencia de las estaciones anteriores, estas serían las segundas más diversas. De acuerdo con la *Guía* de Roldán Pérez (1996), la especie predominante es la *Chironomus sp.*, perteneciente a la familia Chironomidae de la clase Insecta, la cual habita en fondos fangosos y en arena con abundante materia orgánica en descomposición, y su presencia podría indicar relación con aguas mesoeutróficas (moderado nivel de productividad). De otro lado, las especies *Naididae*, que pertenecen a la familia Naididae de la clase Oligochaeta, son las que le siguen en menor cantidad y, por lo general, el género identificado suele habitar en lugares donde existe algún tipo de perturbación.

4.5. Distribución de las mayores concentraciones de los parámetros de calidad en los sedimentos

Los resultados mostrados en la Figura 61 evidencian las mayores concentraciones halladas en el muestreo de esta investigación. Indican que los valores más altos de metales pesados, así como de MOT y carbonatos, se hallaron en la estación Rsant8, seguido por la estación Rsant7, si se consideran solo los parámetros plomo y antimonio, y la estación Rnegr, donde se encontraron los valores más altos de arsénico. Cabe destacar que, en la estación Rsant6, la mayoría de los valores se hallaron muy por debajo de los de las demás estaciones.

FIGURA 61. Distribución de las mayores concentraciones de los metales pesados por estación y por año de muestreo, mayores concentraciones en el periodo 2019 por estación de muestreo.

MÁXIMAS CONCENTRACIONES												
ESTAC	2013				2014				2019			
	Rnegr	Rsant6	Rsant7	Rsant8	Rnegr	Rsant6	Rsant7	Rsant8	Rnegr	Rsant6	Rsant7	Rsant8
Be												
V												
Cr												
Mn												
Co												
Ni												
Cu												
Zn												
As												
Se												
Ag												
Cd												
Sb												
Tl												
Pb												
Hg												

2019				
ESTAC	Rnegr	Rsant6	Rsant7	Rsant8
Be	0.50	0.33	0.39	1.00
V	21.7	22.3	24.3	28.1
Cr	6.00	6.40	5.80	11.60
Mn	1114	489	2092	2130
Co	11.70	8.17	17.51	25.37
Ni	8.70	8.40	13.20	30.30
Cu	28.5	14.1	21.2	33.7
Zn	816	299	545	1022
As	252	53.2	144	73.4
Se	0.23	0.11	0.21	0.28
Ag	1.87	0.28	0.32	4.77
Cd	2.35	0.95	1.9	3.37
Sb	2.67	1.96	3.11	2.24
Tl	0.11	0.09	0.22	0.26
Pb	54.2	48.5	57.8	53.6
Hg	0.0380	0.0251	0.0817	0.1291

	MUY BAJO
	BAJO
	MEDIO
	ALTO

Las mayores concentraciones de los valores hallados en los metales pesados fueron registradas en 2019, siendo el Be, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, As, y Hg. Asimismo, la estación Rsant6 en el 2013 y la estación Rsant7 en 2014 registraron las mayores concentraciones de metales pesados (en esos años). Por su lado, en 2019, las mayores concentraciones se hallaron en la estación Rsant8. Cabe señalar que el As hallado en 2019 corresponde a la estación Rnegr.

4.6. Contrastación de hipótesis

Mediante los resultados analizados en el presente trabajo —los cuales fueron comparados con los estudios de la ANA en los periodos 2013 y 2014, respectivamente—, se pudo constatar que los metales pesados en los sedimentos, según las estaciones de muestreo Rsant6, Rsant7 y Rsant8, variaron en sus niveles de concentración por cada parámetro. Asimismo, se evidencia que los niveles de As, Cu, Zn, Hg, Co, Be, Ni, Mn y Ag, según el último muestreo, se han incrementado respecto a años anteriores. De otro lado, los metales pesados no mostraron una tendencia de incremento respecto a las actividades las que pueden impactar.

Los resultados obtenidos en el último muestreo (2019) podrían determinar, en primera instancia, la relación entre el mayor número de pasivos ambientales, que se localizan en la parte alta de la estación Rnegr, con las mayores concentraciones de As halladas en esa estación. Asimismo, es en la estación Rsant8, ubicada aguas abajo del distrito de Huata, donde se registra el mayor número de concesiones para la actividad minera y donde también se hallaron las mayores concentraciones de Cd, Cu, Zn, Hg, V, Co, Be, Ni, Mn, Tl, Ag y Se.

Por su parte, la abundancia y diversidad de los macroinvertebrados bentónicos también implicó un comportamiento importante, ya que, según las presiones antropogénicas, estas respondieron a cada una de las estaciones de muestreo. Los resultados mostraron que los lugares con mayor número de habitantes, entre los distritos Huaraz e Independencia (superiores a 130 000 habitantes), presentaron una menor diversidad de especies bentónicas.

A continuación, mencionaremos las hipótesis planteadas en nuestro trabajo y las contrastaremos con los resultados obtenidos en la presente investigación.

Los niveles de concentraciones de los metales pesados en sedimentos, así como la diversidad y abundancia de los macroinvertebrados bentónicos, varían significativamente, en cada una de las cuatro estaciones de muestreo de la parte media de la cuenca del río Santa.

Se realizó la prueba estadística de validación de las hipótesis, con los resultados de la presencia y distribución espacio temporal de los metales pesados en las tres campañas de muestreo (2013, 2014 y 2019), donde se consideró la *hipótesis nula* “*Todas las medidas fueron iguales*”, la *hipótesis alterna* “*No todas las medidas fueron iguales*” y el nivel de significancia de $\alpha = 0,05$ (Valor p).

En las siguientes Figuras, se muestran las pruebas de hipótesis, utilizando ANOVA, en las cuales se rechaza o acepta la hipótesis nula o la hipótesis alternativa. Se muestra el análisis de la varianza por cada metal y la gráfica de intervalos por cada año de muestreo.

FIGURA 62. Análisis de varianza y gráfica de intervalos del arsénico por cada año de muestreo

ANOVA de un solo factor: As vs. AÑO

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
AÑO	2	7441	3720	1.59	0.279
Error	6	14029	2338		
Total	8	21470			

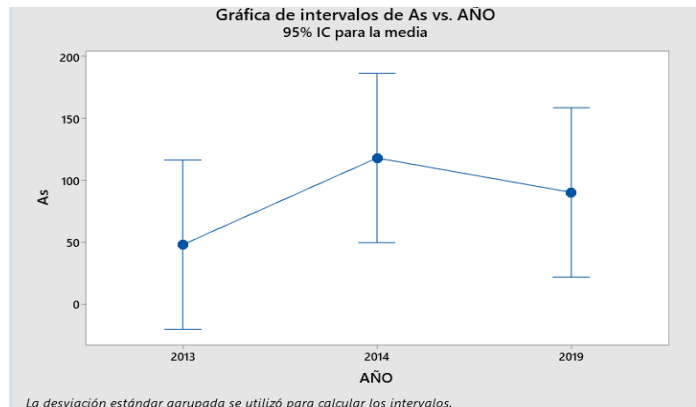


FIGURA 63. Análisis de varianza y gráfica de intervalos del cadmio por cada año de muestreo

ANOVA de un solo factor: Cd vs. AÑO

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
AÑO	2	13.47	6.736	1.83	0.239
Error	6	22.05	3.675		
Total	8	35.52			

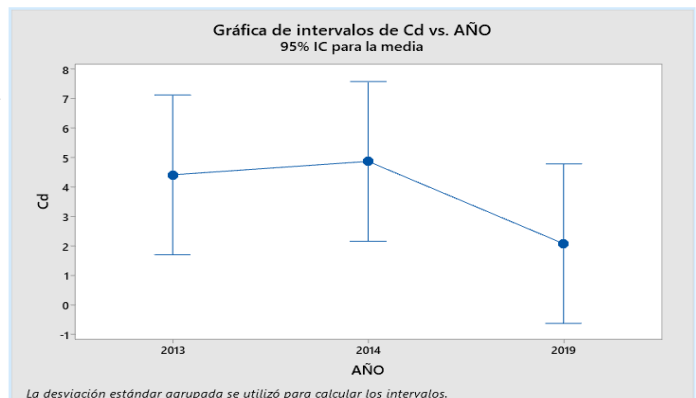


FIGURA 64. Análisis de varianza y gráfica de intervalos del plomo por cada año de muestreo

ANOVA de un solo factor: Pb vs. AÑO

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
AÑO	2	5307.6	2653.80	44.99	0.000
Error	6	353.9	58.98		
Total	8	5661.5			

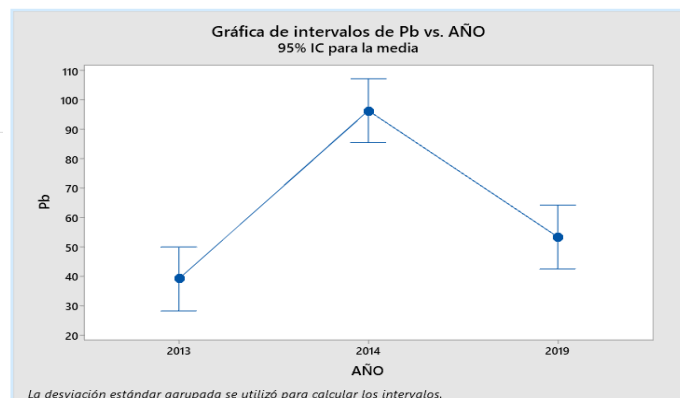


FIGURA 65. Análisis de varianza y gráfica de intervalos del cobre por cada año de

muestreo

ANOVA de un solo factor: Cu vs. AÑO

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
AÑO	2	35.58	17.79	0.48	0.643
Error	6	224.52	37.42		
Total	8	260.10			

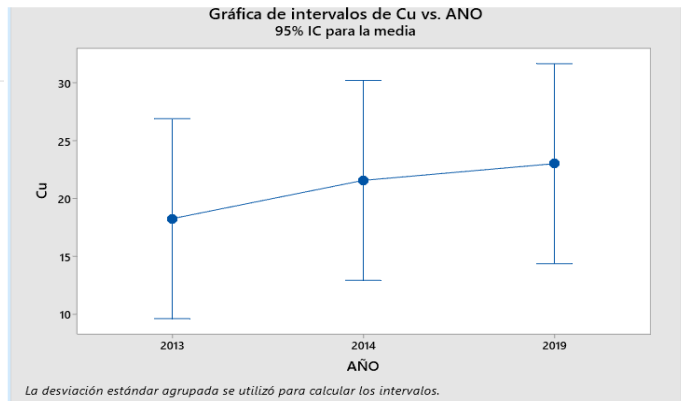


FIGURA 66. Análisis de varianza y gráfica de intervalos del zinc por cada año de

muestreo

ANOVA de un solo factor: Zn vs. AÑO

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
AÑO	2	227171	113586	2.00	0.216
Error	6	340211	56702		
Total	8	567382			

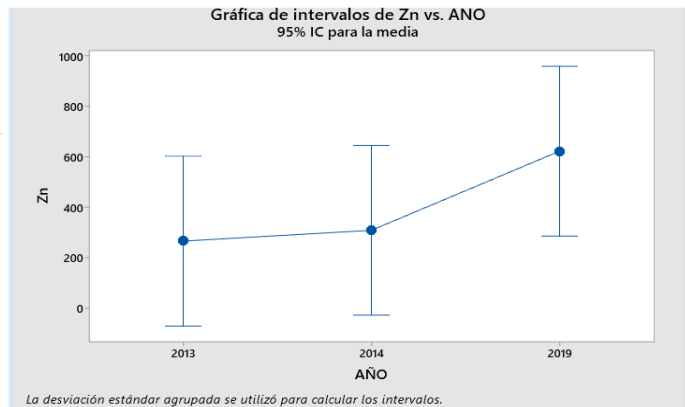


FIGURA 67. Análisis de varianza y gráfica de intervalos del mercurio por cada año de

muestreo

ANOVA de un solo factor: Hg vs. AÑO

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
AÑO	2	0.000693	0.000346	0.38	0.697
Error	6	0.005428	0.000905		
Total	8	0.006121			

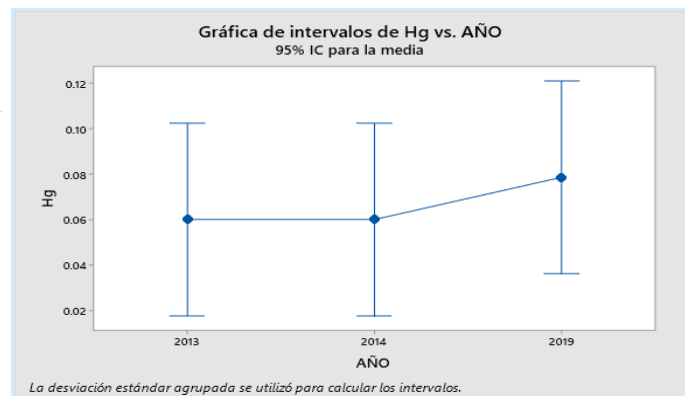


FIGURA 68. Análisis de varianza y gráfica de intervalos del vanadio por cada año de muestreo

ANOVA de un solo factor: V vs. AÑO

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
AÑO	2	15.52	7.759	1.10	0.393
Error	6	42.50	7.084		
Total	8	58.02			

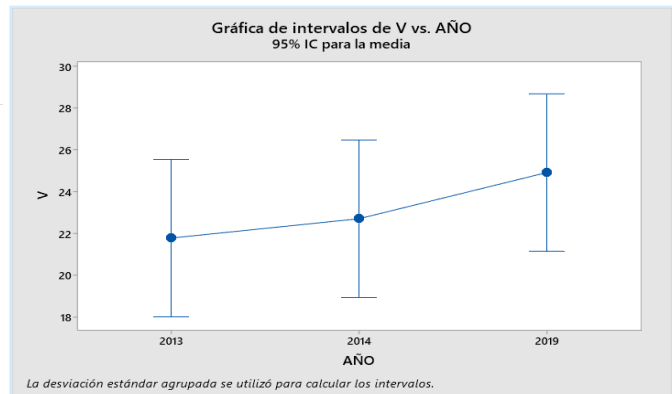


FIGURA 69. Análisis de varianza y gráfica de intervalos del cobalto por cada año de muestreo

ANOVA de un solo factor: Co vs. AÑO

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
AÑO	2	82.50	41.25	1.41	0.314
Error	6	175.08	29.18		
Total	8	257.58			

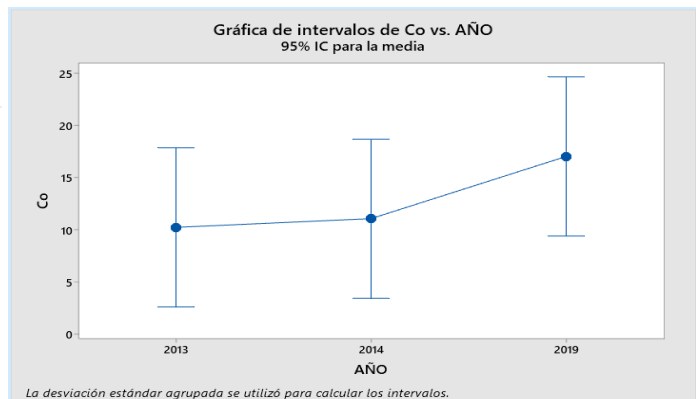


FIGURA 70. Análisis de varianza y gráfica de intervalos del berilio por cada año de muestreo

ANOVA de un solo factor: Be vs. AÑO

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
AÑO	2	0.4683	0.23416	4.81	0.057
Error	6	0.2918	0.04864		
Total	8	0.7601			

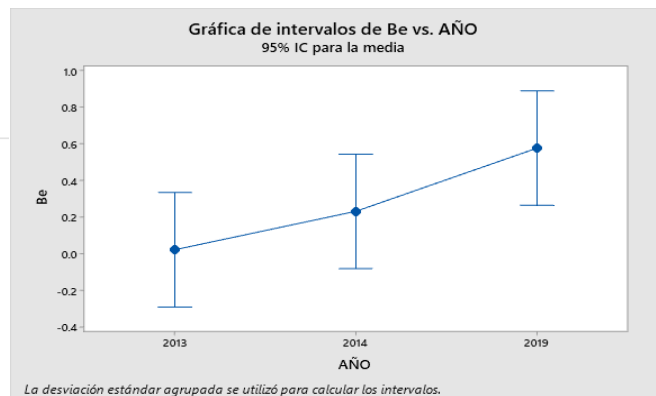


FIGURA 71. Análisis de varianza y gráfica de intervalos del níquel por cada año de muestreo

ANOVA de un solo factor: Ni vs. AÑO

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
AÑO	2	105.5	52.75	1.15	0.378
Error	6	275.5	45.91		
Total	8	381.0			

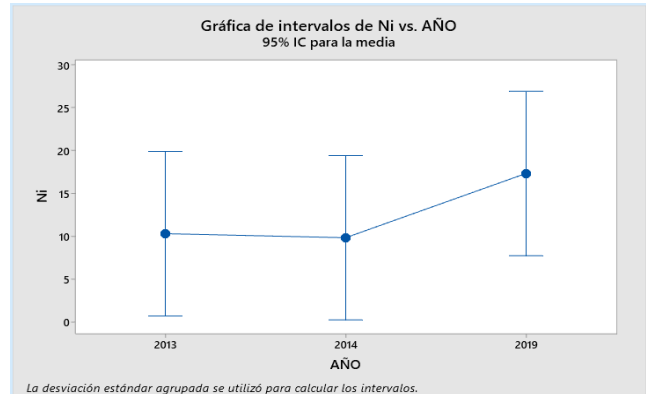


FIGURA 72. Análisis de varianza y gráfica de intervalos del manganeso por cada año de muestreo

ANOVA de un solo factor: Mn vs. AÑO

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
AÑO	2	1718282	859141	2.79	0.139
Error	6	1847431	307905		
Total	8	3565713			

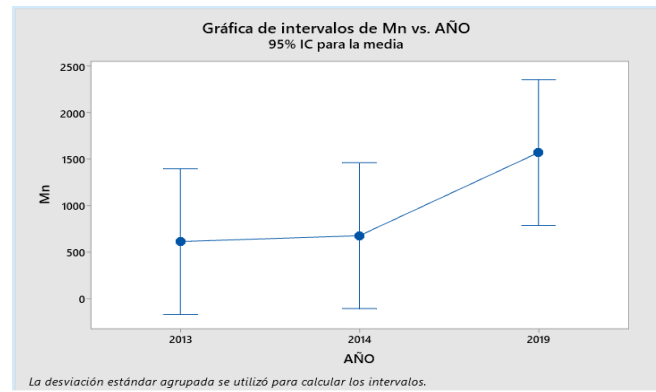


FIGURA 73. Análisis de varianza y gráfica de intervalos del talio por cada año de muestreo

ANOVA de un solo factor: Be vs. AÑO

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
AÑO	2	0.4683	0.23416	4.81	0.057
Error	6	0.2918	0.04864		
Total	8	0.7601			

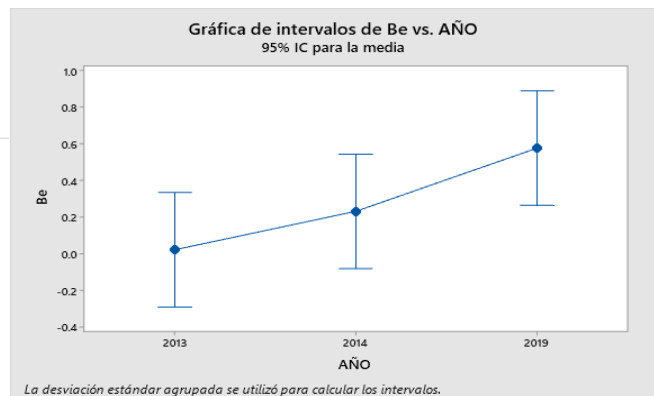


FIGURA 74. Análisis de varianza y gráfica de intervalos del antimonio por cada año de muestreo

ANOVA de un solo factor: Sb vs. AÑO

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
AÑO	2	5.008	2.504	1.03	0.414
Error	6	14.653	2.442		
Total	8	19.660			

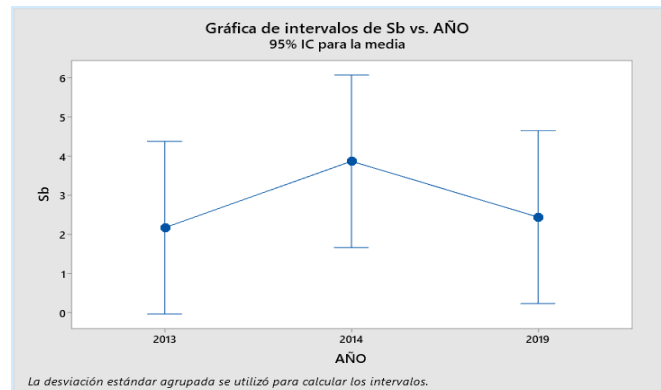


FIGURA 75. Análisis de varianza y gráfica de intervalos de la plata por cada año de muestreo

ANOVA de un solo factor: Ag vs. AÑO

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
AÑO	2	6.055	3.028	1.36	0.325
Error	6	13.321	2.220		
Total	8	19.377			

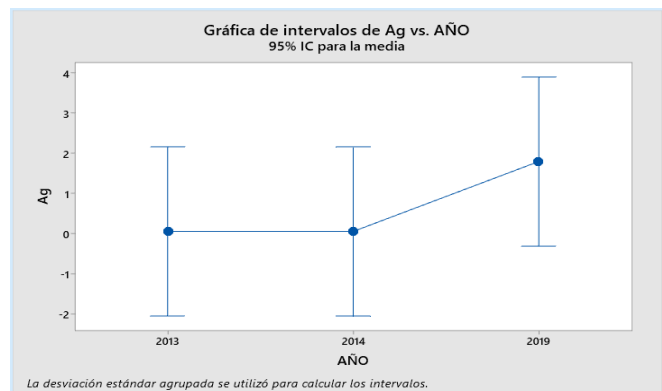
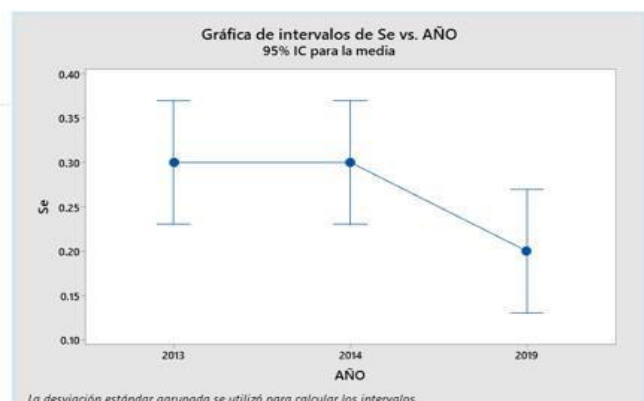


FIGURA 76. Análisis de varianza y gráfica de intervalos del selenio por cada año de muestreo

ANOVA de un solo factor: Se vs. AÑO

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
AÑO	2	0.02000	0.010000	4.11	0.075
Error	6	0.01460	0.002433		
Total	8	0.03460			



Gracias a los análisis realizados para cada metal pesado, se determinó que los niveles de concentración de As, Cd, Cu, Zn, Hg, V, Co, Be, Ni, Mn, Tl, Sb, Ag y Se, fueron estadísticamente diferentes en cada año de muestreo (2013, 2014 y 2019); esto quiere decir que las concentraciones para cada metal, varió en el tiempo el cual no podría mostrarse como un indicador que determine una presión antropogénica como tal, debido a que no sigue un incremento específico respecto a los usos humanos. De otro lado, se registró que solo las concentraciones de Pb fueron similares en esos mismos periodos de tiempo; en efecto, su variación significativa fue menor a 0,05, el cual, sería el único metal que sus concentraciones fueron constantes en el tiempo y para cada una de las estaciones de muestreo.

Como se mencionó anteriormente, en la estación Rsant8 se hallaron las mayores concentraciones de Cd, Cu, Zn, Hg, V, Co, Be, Ni, Mn, Tl, Ag y Se; y los organismos bentónicos que presentaron mayor abundancia fueron *Chironomus sp.*, cuya presencia en el hábitat acuático está asociada con aguas mesoeutróficas.

En la estación Rsant7 se detectaron las mayores concentraciones de Pb y Sb, y los organismos bentónicos con mayor abundancia fueron *Chironomus sp.* —al igual que en la estación Rsant8—, los cuales indican aguas mesoeutróficas.

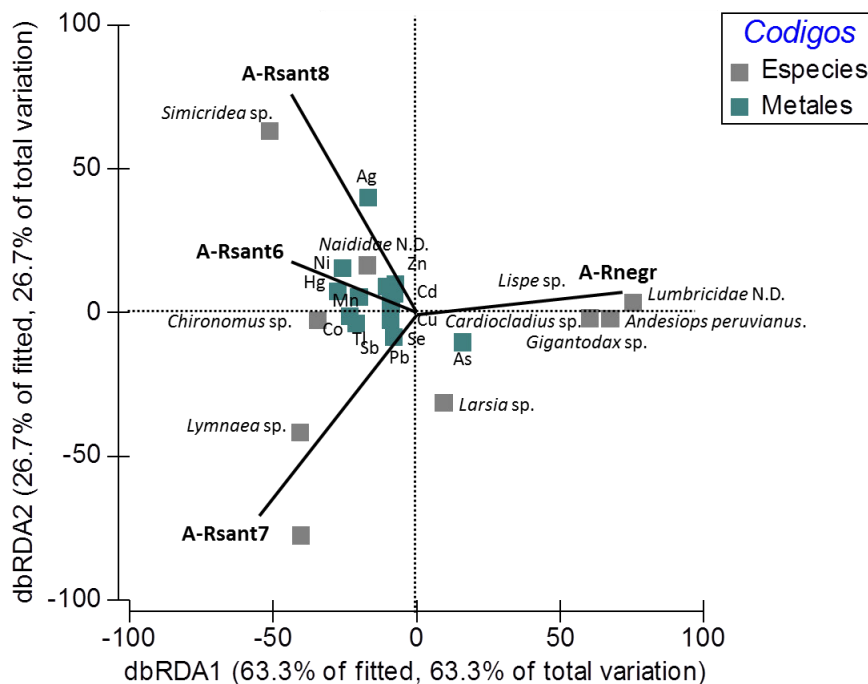
En la estación Rnegr se registró la mayor concentración de As en las muestras de sedimentos, y los organismos bentónicos con mayor abundancia fueron *Gigantodax sp.*, los cuales habitan en aguas bajas en nutrientes y en corrientes muy oxigenadas.

Por último, en la estación Rsant6, todos los metales pesados evaluados se hallaron en menores niveles; y también se registró la menor diversidad de especies bentónicas, si bien la especie con mayor abundancia fue *Chironomus sp.* y *Naididae ND*, cuyas presencias indican aguas mesoeutróficas y perturbadas.

Según cada estación de muestreo, existe una mayor relación entre los organismos bentónicos y los metales pesados que presentaron una mayor concentración en cada estación.

En la Figura 77, se identifican las cuatro estaciones de muestreo, así como los metales pesados y las especies de los organismos bentónicos, según la distribución por cada estación muestreada. De ese modo, se puede reconocer que en la estación Rnegr se registra la mayor abundancia y diversidad de especies bentónicas, y que las especies *Larsia sp.*, *Cardiocladius sp.* y *Gigantodax* podrían tener mayor relación con el As, hallado en mayor concentración en dicha estación. Asimismo, en la estación Rsant8, los niveles de Ag, Zn, Cd y Ni tendrían mayor relación con las especies *Naididae ND* y *Simicridea sp.*; en efecto, en esa estación, la especie *Naididae ND* fue el segundo organismo con mayor abundancia, mientras que se detectaron pocos organismos de la especie *Smicridea*.

FIGURA 77. Comparación de metales pesados con organismos bentónicos



Las diversas actividades antrópicas que se localizan cerca de cada una de las estaciones de muestreo determinan los niveles de concentración de los metales pesados, así como la abundancia y diversidad de los macroinvertebrados bentónicos.

Mediante esta descripción se relacionan las estaciones de muestreo y las actividades antrópicas que se desarrollan cuenca arriba de cada estación, a fin de evidenciar si las presiones antrópicas pueden tener efectos en la presencia de los metales pesados o incidir respecto a la abundancia de los macroinvertebrados bentónicos.

Las estaciones de muestreo Rnegr y A-Rnegr están ubicadas entre los 3200 y 3190 m s. n. m. A diferencia de la toma de muestras que hizo la ANA en años anteriores, esta se realizó en la misma cuenca del río Santa, localizada aguas abajo y a 6,60 km del distrito de Recuay y a 5,60 km del pasivo ambiental denominado Wilson. Aguas arriba de ambas estaciones, se presenta la mayor cantidad de pasivos ambientales; además, se registraron 85 concesiones otorgadas para la actividad minera y este lugar cuenta con cuatro concesiones otorgadas para la actividad acuícola. Cabe señalar que, sumando todos los habitantes (aguas arriba de las estaciones de muestreo), se registran más de 13 000 habitantes, siendo la estación donde se halla la menor concentración de la población. Asimismo, en esta estación se registró la mayor cantidad de concentración de As en las muestras del sedimento, así como la mayor abundancia y diversidad de organismos bentónicos.

Las estaciones de muestreo Rsant6 y A-Rsant6 están ubicadas entre los 2951 y 2950 m s. n. m. Aguas arriba y a una distancia de 6,53 km, están localizados los distritos de Independencia y Huaraz, los cuales cuentan con la mayor cantidad de habitantes (132 000, aproximadamente). El pasivo ambiental más cercano se encuentra a 3,25 km y se denomina Santo Toribio. Asimismo, en estas estaciones se registra el segundo mayor número de

pasivos ambientales. En esta zona se han establecido 110 concesiones para la actividad minera y cinco concesiones para la actividad acuícola. En ambas estaciones se registraron muy bajos niveles de metales pesados (comparados con las demás tomas de muestra) y, respecto a los indicadores biológicos, se observó una menor abundancia y diversidad de organismos bentónicos, entre los cuales predominó la *Chironomus sp.* Esta especie, según su descripción, se ubica en hábitats de fondos fangosos con presencia de perturbación.

Las estaciones de muestreo Rsant7 y A-Rsant7 están ubicadas entre los 2715 y 2700 m s. n. m. Aguas arriba y a 3,77 km de distancia, está localizado el distrito de Anta, y a 7,18 km, los relaves de Santa Rosa de Jangas. En esta zona, existen seis distritos con una población menor a los 20 000 habitantes. Asimismo, se han detectado seis pasivos ambientales y se han establecido 68 concesiones para la actividad minera y una concesión para la actividad acuícola. Estas estaciones presentaron los mayores valores de Sb y Pb; asimismo, en una de sus estaciones se registró una mayor abundancia de organismos bentónicos, mientras que en la réplica no fue así. Al igual que en la estación Rsant6, en esta estación predomina la especie *Chironomus sp.*, la cual podría indicar perturbación.

Las estaciones de muestreo Rsant8 y A-Rsant8 están ubicadas entre los 1855 y 1850 m s. n. m. Aguas arriba y a una distancia de 8,49 km, está localizado el distrito de Caraz, y a 27,48 km, el pasivo ambiental desmonte de Cal-Ranrahirca. En el tramo desde el Rsant7 hasta el Rsant8, existen 16 distritos, cuya población total es de 100 019 habitantes, lo que lo haría el segundo grupo con el mayor número de habitantes en el ámbito de estudio. En este tramo solo se registraron cinco pasivos ambientales, pero se registraron 181 concesiones para la actividad minera, siendo el mayor número observado. En estas estaciones se registraron las mayores concentraciones de metales pesados, como Cd, Cu, Zn, Hg, V, Co, Be, Ni, Mn, Tl, Ag y Se; así como de la materia orgánica total (MOT) y los carbonatos. Respecto a los organismos bentónicos, la especie predominante fue la

Chironomus sp., al igual que en las estaciones Rsant7 y Rsant6, lo cual podría indicar perturbación.

A modo de discusión, se menciona que de todos los metales pesados y metaloides hallados en la investigación, se han seleccionado tres de ellos, As, Zn y Pb, en el caso de los dos primeros sobrepasaron el límite PEL (Probable Effect Level), mientras que el Pb sobrepasó el límite ISQG (Interim Sediment Quality Guideline), ambos límites corresponden a las “Directrices para la protección de la vida acuática (calidad ambiental de los sedimentos)”, del Consejo de Ministros Canadiense de Medioambiente (CCME). Estándar de Calidad Ambiental Canadiense.

Es importante destacar que según los estudios del ANA en los periodos 2013 y 2014, los niveles de As hallados en esos años, en la mayoría de estaciones de muestreo superaron los límites PEL, de otro lado, el Zn y el Pb, han ido variando año tras año, en algunas estaciones se halló por encima del PEL y para el siguiente año por encima del ISQG, el cual, la presencia de dichos metales no serían constantes en el tiempo ni el espacio, debido a su corta variación a causa de los procesos de erosión y transporte que varían en periodos de lluvia. Respecto a su significancia estadística de todos los metales, el Pb fue el único metal que ha sido similar comparativamente en los tres periodos de tiempo de muestreo, el cual sería importante de tomarlo como referencia, así como el As, lo que nos permite resaltar que la presencia de estos metales no solo podría estar asociado a las actividades antropogénicas, sino también a efectos de la escorrentía y erosión de los procesos geológicos de la cuenca misma.

De otro lado, Gallozo y Yauri (2017), en su estudio de la cuenca del río Yanayacu (tributario del río Santa), en sus tablas de resultados de macroinvertebrados acuáticos de sus

ocho estaciones de muestreo, se aprecia que posterior al cambio de temporadas entre estiaje y avenida, predominan organismos claves o indicadores, interpretando la información de sus resultados, se podría mencionar que, a pesar de los cambios temporales, los organismos acuáticos mantienen un predominio en sus hábitats. Citando a Salcedo Gustavson, Artica Cosme y Andrea Trama (2013), en su investigación sobre la calidad de los macroinvertebrados bentónicos, en la microcuenca del río San Alberto (Oxapampa – Perú), mencionan que la mayoría de los grupos de familias de organismos bentónicos, se registraron en las zonas altas de la cuenca, principalmente en el sustrato pedregoso, variando de abril a junio, la mayor abundancia del organismo bentónico en las zonas altas fue *Leptophlebiidae*, mientras que en las zonas bajas fue *Chironomidae*, comparando con los estudios de Roldan Pérez (1996), se determina que en las zonas altas indican aguas limpias o ligeramente contaminadas, mientras que en las partes bajas indican perturbación. Mediante estos aportes, se podría demostrar que el uso de los macroinvertebrados bentónicos, son indicadores claves para identificar los niveles de perturbación en los cuerpos de agua.

CONCLUSIONES

1. Durante el periodo 2019, las mayores concentraciones de los metales pesados fueron registrados en la estación Rsant8 (Be, Ni, Mn, Tl, Ag, Se, Co, V, Hg, Zn, Cu y Cd); asimismo, los mayores valores niveles de Sb y Pb se encontraron en la estación Rsant7, y los mayores valores de As se halló en la estación Rnegr. Sin embargo, comparando estadísticamente los resultados con lo registrado en años anteriores (2013 y 2014), determinarían que los metales pesados fueron estadísticamente diferentes para cada año, solo las concentraciones de Pb fueron similares en esos mismos periodos de tiempo. Las mayores abundancias y diversidad de macroinvertebrados bentónicos fueron registrados en la estación Rnegr; mientras que la menor abundancia y diversidad de los organismos bentónicos, en la estación Rsant6. Los parámetros colectados (2019) en muestras de agua, como el pH y el oxígeno disuelto en agua, estuvieron dentro del rango establecido por el ECA 2017.
2. El comportamiento de las concentraciones de los metales pesados, así como la abundancia de organismos bentónicos, variaron en relación con las diferentes estaciones de muestreo. Asimismo, los resultados de las mayores concentraciones de los metales pesados podrían estar relacionados a las presiones antropogénicas que se desarrollan en la parte alta de cada estación muestreada. Sin embargo, dicha presencia de los metales no podría determinarse como tal, debido a que también es importante considerar la geología de la cuenca, la cual no solo permite el desarrollo de actividades mineras, sino también es el principio para el desarrollo de diferentes actividades humanas, como la agricultura, entre otros usos. En ese sentido, es

necesario recordar que el indicador de organismos bentónicos sí podría tener mayor relación con las presiones antropogénicas, debido a lo hallado en esta investigación.

3. La mayor cantidad de pasivos ambientales se encuentra en la provincia de Recuay, aguas arriba de la estación Rnegr. En dicha estación, se registraron los valores más altos de As y la mayor diversidad y abundancia de organismos bentónicos. Estos últimos resultados podrían estar relacionados a la ausencia de ocupación humana, ya que allí se identificó la menor concentración de población humana. De otro lado, la menor diversidad y abundancia de organismos bentónicos fue hallada en la estación Rsant6, donde también se encontraron las mayores concentraciones de habitantes, superiores a las 130 000 personas. Por último, en la estación Rsant8 se registraron las mayores concentraciones de metales pesados (Be, Ni, Mn, Tl, Ag, Se, Co, V, Hg, Zn, Cu y Cd) y las mayores concentraciones de concesiones para la actividad minera.

RECOMENDACIONES

1. Para determinar el comportamiento de la variación de las concentraciones de los metales pesados, es importante la colecta y análisis de las muestras en diferentes periodos de tiempo, estas pueden ser anuales o según la variación climática, asimismo, sería importante continuar con el muestreo de macroinvertebrados bentónicos y evaluar según la diversidad y abundancia de las especies. Ambos insumos son claves para determinar los niveles de presión antrópicas y por ende su conocimiento serviría para determinar el estado ambiental de la cuenca y esto a su vez, para mejorar la planificación y la asignación de usos en el territorio.
2. Tomando como referencia los tipos de uso a lo largo de toda la cuenca, así como los niveles de concentración por cada una de estas, sería importante tomar como referencia los niveles de contaminantes y parámetros de calidad ambiental que tengan relación con por cada tipo de actividad antrópica. Esto podría ser fundamental para medir las presiones por uso específico. Asimismo, en lo sucesivo, sería importante tomar como referencia a los organismos *Larsia sp.* y *Gigantodax sp.* para ensayos de ecotoxicidad en relación con los metales pesados, principalmente en concentraciones de As y Pb, debido a lo hallado en la presente investigación.
3. Mediante este tipo de análisis del componente ambiental determinados en calidad de agua, calidad de los sedimentos del fondo de agua y los organismos bentónicos, podrían ser importantes para que el estado peruano determine los niveles de impactos en los recursos naturales, principalmente en los sedimentos del fondo de los cuerpos de agua, debido a las relaciones tróficas que existen en los tipos de hábitats subacuática;

finalmente sea un insumo clave que permita determinar la capacidad de carga de los usos y su planificación en relación a los impactos negativos que pueden generar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arcos Alarcón, F.; Yupa Paredes, G. y Calderón Cossio, C. (2021). Distribución zonal de la minería artesanal en la región Áncash en relación con la metalogenia. En *XIX Congreso Peruano de Geología “Geología: Ciencia para el Desarrollo Económico Sostenible”*. Resúmenes ampliados (pp. 900-904). Sociedad Geológica del Perú.
- Autoridad Nacional del Agua (17 de mayo de 2011). Autoridad Nacional del Agua prorroga reserva de recursos hídricos a favor de los proyectos especiales Chavimochic y Chinecas. *Autoridad Nacional del Agua*. <https://www.ana.gob.pe/noticia/autoridad-nacional-del-agua-prorroga-reserva-de-recursos-hidricos-favor-de-los-proyectos>.
- Autoridad Nacional del Agua (2013). *Evaluación de la calidad del agua y de los sedimentos en la cuenca del río Santa, noviembre - 2013. Informe técnico n.º 105-2013-ANA-DGCRH-VIG/MGSP*. Ministerio de Agricultura y Riego.
- Autoridad Nacional del Agua (2014). *Evaluación de la calidad del agua y de los sedimentos en la cuenca del río Santa, abril - 2014. Informe técnico n.º 002-2014-ANA-DGCRH-GOCHR*. Ministerio de Agricultura y Riego.
- Autoridad Nacional del Agua (2015). *Evaluación de recursos hídricos en la cuenca Santa. Informe final. Noviembre 2015*. INCLAM-TYPSA Perú / Autoridad Nacional del Agua.
- Autoridad Nacional del Agua (2016a). *Resultados del 3.º monitoreo participativo de la calidad del agua superficial en la cuenca del río Santa 2015. Informe técnico n.º 017-2016-ANA-SDGCRH*. Ministerio de Agricultura y Riego.
- Autoridad Nacional del Agua (2016b). *Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales. (Resolución Jefatural n.º 010-2016-ANA)*. Ministerio de Agricultura y Riego.

- Autoridad Nacional del Agua (2017). *Compendio nacional de estadísticas de recursos hídricos 2016*. Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos.
- Bertolotti Rivera, F. y Noé Moccetti, N. (2018). Concentración de plomo, mercurio y cadmio en músculo de peces y muestras de agua procedentes del río Santa, Áncash-Perú. *Salud y Tecnología Veterinaria*, 6(1), 35-41.
<https://revistas.upch.edu.pe/index.php/STV/article/view/3376/pdf>.
- Bocco, G. y Urquijo, P. (2013). Geografía ambiental: reflexiones teóricas y práctica institucional. *Región y Sociedad*, 25(56), 75-101.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10225596001>.
- Buj Buj, A. (2003). BOADA, Martí, SAURÍ, David. El cambio global. Barcelona: Editorial Rubes, 2002. *Biblio3W Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales*, 8(427). <https://www.ub.edu/geocrit/b3w-427.htm>.
- Buzai, G. D. (2015). Geografía cuantitativa, paradigmas y simplicidad. En G. D. Buzai, G. Cacace, L. Humacata y S. L. Lanzelotti (Comps.), *Teoría y métodos de la geografía cuantitativa. Libro 1: Por una geografía de lo real* (pp. 23-38). MCA Libros.
- Carrera Reyes, C. y Fierro Peralbo, K. (2001) *Manual de monitoreo. Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua*. ECOCIENCIA.
- Conesa Fernández-Vítora, V. (1997). *Auditorías medioambientales. Guía metodológica*. Ediciones Mundi-Prensa.
- Custodio Villanueva, M. y Chanamé Zapata, F. C. (2016). Análisis de la biodiversidad de macroinvertebrados bentónicos del río Cunas mediante indicadores ambientales, Junín-Perú. *Scientia Agropecuaria*, 7(1), 33-44.
<http://www.scielo.org.pe/pdf/agro/v7n1/a04v7n1.pdf>.

- Dean, W. E. (1974). Determination of Carbonate and Organic Matter in Calcareous Sediments and Sedimentary Rocks by Loss on Ignition: Comparison with other Methods. *Journal of Sedimentary Petrology*, 44(1), 242-248. <https://doi.org/10.1306/74D729D2-2B21-11D7-8648000102C1865D>.
- Decreto Ley n.º 17752, Ley General de Aguas del Ministerio de Energía y Minas. (24 de julio de 1969). [https://www2.congreso.gob.pe/Sicr/Comisiones/2004/Ambiente_2004.nsf/Documentosweb/8C45B66E6815D2DE05256F320055052B/\\$FILE/DL17752.pdf](https://www2.congreso.gob.pe/Sicr/Comisiones/2004/Ambiente_2004.nsf/Documentosweb/8C45B66E6815D2DE05256F320055052B/$FILE/DL17752.pdf).
- Decreto Supremo n.º 001-2010-AG, que aprueba el Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos, Ley n.º 29338. (23 de marzo de 2010). <https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/marcolegal/normaslegales/decretosupremos/2010/ds01-2010-ag.pdf>.
- Decreto Supremo n.º 004-2017-MINAM, que aprueba Estándares de Calidad Ambiental para Agua y establece Disposiciones Complementarias. (6 de junio de 2017). <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>.
- Decreto Supremo n.º 011-2017-MINAM, que aprueba Estándares de Calidad Ambiental para Suelo. (1 de diciembre de 2017). http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/12/DS_011-2017-MINAM.pdf.
- Decreto Supremo n.º 048-2011-PCM, que aprueba el Reglamento de la Ley n.º 29664, que crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres. (26 de mayo de 2011). <https://www.minam.gob.pe/prevencion/wp-content/uploads/sites/89/2014/10/2.-DS-048-2011-Reglamento-Ley-29664.pdf>.

- Decreto Supremo n.º 0622-75-AG, que crea el Parque Nacional Huascarán. (1 de julio de 1975). <https://legislacionanp.org.pe/wp-content/uploads/1975/07/Decreto-Supremo-N%C2%B0-0622-75-AG.pdf>.
- Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de Naciones Unidas (2014). Decenio Internacional para la Acción “El agua fuente de vida” 2005-2015. *Naciones Unidas*. https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/water_and_sustainable_development.shtml.
- Eróstegui Revilla, C. P. (2009). Contaminación por metales pesados. *Revista Científica Ciencia Médica*, 12(1), 45-46. http://www.scielo.org.bo/pdf/rccm/v12n1/v12n1_a13.pdf.
- Escobar, J. (2002). *La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- Galán Huertos, E. y Romero Baena, A. (2008). Contaminación de suelos por metales pesados. *Macla. Revista de la Sociedad Española de la Mineralogía*, (10), 48-60. https://www.semineral.es/websem/PdfServlet?mod=archivos&subMod=publicaciones&archivo=Macla10_48.pdf.
- Gallozo Huerta, A. y Yauri Cochachin, J. P. (2017). *Macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de la calidad del agua, relacionados con metales pesados en la subcuenca Yanayacu-Áncash, setiembre 2015-abril 2016* [Tesis de licenciatura]. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.
- Gracia-Rojas, J. P. (2015). *Desarrollo sostenible: origen, evolución y enfoques*. Universidad Cooperativa de Colombia. <http://dx.doi.org/10.16925/greylit.1074>.
- Henry, J. G. y Heinke, G. W. (1999). *Ingeniería ambiental*. Pearson Educación.
- Hudson, N. W. (1997). *Medición sobre el terreno de la erosión del suelo y de la escorrentía*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (1989). *Estudio geodinámico de la cuenca del Río Santa*. Dirección General de Geología.

<https://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/20.500.12544/313/2/C-014B->

[Boletin-Estudio_geodinamico_cuenca_rio_Santa.pdf](#).

Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (2019). *Atlas catastral, geológico, minero y metalúrgico*. Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico.

<https://portal.ingemmet.gob.pe/web/guest/-/atlas-catastral-geologico-minero-y->

[metalurgi-1](#).

Instituto Nacional de Estadística e Informática (2018). *Resultados definitivos Perú*. Instituto

Nacional de Estadística e Informática.

https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib154

[4/00TOMO_01.pdf](#).

Lawrence, E. (Ed.) (2003). *Diccionario Akal de términos biológicos*. Akal.

Lepane, V.; Varvas, M.; Viit, A.; Alliksaar, T. y Heinsalu, A. (2007). Sedimentary Record of Heavy Metals in Lake Rouge Liinjary, Southern Estonia. *Estonian Journal of*

Earth Sciences, 56(4), 221-232.

https://kirj.ee/public/Estonian_Journal_of_Earth_Sciences/2007/issue_4/earth-

[2007-4-3.pdf](#).

López Trigal, L. (Dir.) (2015). *Diccionario de geografía aplicada y profesional*.

Terminología de análisis, planificación y gestión del territorio. Universidad de León.

Mancomunidad Municipal del Valle Fortaleza y del Santa (2017). *Estudio hidrológico*

cuenca del río Santa. Proyecto: “Recuperación de los servicios ecosistémicos de regulación hídrica, en las cuencas alta, media y baja de los ríos Fortaleza y Santa,

en las provincias de Recuay y Bolognesi - región Áncash”. Mancomunidad

Municipal del Valle Fortaleza y del Santa / Ministerio del Ambiente.

https://siar.minam.gob.pe/ancash/sites/default/files/archivos/public/docs/25_estudio_hidrologico_cuenca_del_rio_santa.pdf.

Mazurek, H. (2005). Redefinir el territorio para definir una constitución. *I Encuentro Internacional sobre Territorialidad y Política: "Territorialidades, Autonomías y ciudadanías"*.

http://www.iunma.edu.ar/doc/MB/lic ts_mat bibliografico/TRABAJO%20SOCIAL%20Y%20POL%3%8DTICAS%20SOCIALES/MAZUREK%20Territorio.pdf.

Ministerio del Ambiente (2010). *Guía de evaluación de riesgos ambientales*. Dirección General de Calidad Ambiental. https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/guia_riesgos_ambientales.pdf.

Ministerio del Ambiente (2013a). *Glosario de términos. Sitios contaminados*. Ministerio del Ambiente. <https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2015/02/2016-05-30-Conceptos-propuesta-Glosario.pdf>.

Ministerio del Ambiente (2013b). *Lineamientos de política para el ordenamiento territorial*. Ministerio del Ambiente. <https://www.minam.gob.pe/ordenamientoterritorial/wp-content/uploads/sites/129/2017/02/09.-Lineamientos-de-Policas-2da-Edicion-2013.pdf>.

Ministerio del Ambiente (2014). *Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Museo de Historia Natural. <http://www.minam.gob.pe/diversidadbiologica/wp-content/uploads/sites/21/2014/02/M%3%A9todos-de-Colecta-identificaci%3%B3n-y-an%3%A1lisis-de-comunidades-biol%3%B3gicas.compressed.pdf>.

- Ministerio de Energía y Minas (1998a). *Estudio de evaluación ambiental territorial y de planteamientos para la reducción o eliminación de la contaminación de origen minero en la cuenca del río Santa*. Dirección General de Asuntos Ambientales.
- Ministerio de Energía y Minas (1998b). *Estudio de evaluación ambiental territorial y de planteamientos para la reducción o eliminación de la contaminación de origen minero de la cuenca de los ríos Torres-Vizcarra*. Lima: Dirección General de Asuntos Ambientales.
- Ministerio de Energía y Minas (2001). *Centrales hidroeléctricas*. http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/institucional/publicaciones/atlas/electricidad/centrales_hidroelectricas.pdf.
- Ministerio de Salud (2011). *Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano*. D. S. n.º 031-2010-SA. Dirección General de Salud Ambiental. http://www.digesa.minsa.gob.pe/publicaciones/descargas/Reglamento_Calidad_Agua.pdf.
- Morera, S.; Condom, T.; Crave, A.; Vouchel, P. y Galvez, C. (2011). Tasas de erosión y dinámica de los flujos de sedimentos en la cuenca del río Santa, Perú. *Revista Peruana Geo-Atmosférica*, (3), 25-37. https://www.researchgate.net/publication/258111788_Erosion_rates_and_dynamics_flow_of_sediments_over_the_Santa_River_Basin_in_Peru.
- Ordoñez Gálvez, J. J. (2011). *¿Qué es una cuenca hidrológica? Cartilla técnica*. Sociedad Geográfica de Lima / Foro Peruano para el Agua. https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/cuenca_hidrologica.pdf.
- Organismo Nacional de Sanidad Pesquera (2021). Sanipes culminó con éxito investigación sanitaria en truchas. *Plataforma digital única del Estado peruano*.

<https://www.gob.pe/institucion/sanipes/noticias/497664-sanipes-culmino-con-exito-investigacion-sanitaria-en-truchas>.

Organización de las Naciones Unidas (2014). Desafíos globales. Agua. *Organización de las Naciones Unidas*. <https://www.un.org/es/global-issues/water>.

Organización de las Naciones Unidas (2016). *Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Organización de las Naciones Unidas. https://unstats.un.org/sdgs/report/2016/the%20sustainable%20development%20goals%20report%202016_spanish.pdf.

Ortiz, A. y Rivero, G. (2007). *Desmitificando la teoría del cambio*. Building Capacity Worldwide. <https://docplayer.es/23514-Teoria-del-cambio-desmitificando-la.html>.

Ortiz-Romero, L. T.; Delgado-Tascón, J. G.; Pardo-Rodríguez, D. A.; Murillo-Perea, E. y Guio Duque, A. J. (2015). Determinación de metales pesados e índices de calidad en aguas y sedimentos del río Magdalena – tramo Tolima, Colombia. *Revista Tumbaga*, 2(10), 43-60. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5710210.pdf>.

Puyol, R.; Estébanez, J. y Méndez, R. (1988). *Geografía humana*. Editorial Cátedra.

Quipúzcoa, L.; Velazco, F.; Castañeda, H. y Marquina, R. (1998). Estudios de bentos y sedimentología durante el crucero oceanográfico BIC Humboldt 9706-07. *Informe Progresivo del Instituto del Mar del Perú*, (79), 17-29. <https://repositorio.imarpe.gob.pe/bitstream/20.500.12958/1261/1/IP%2079.2.pdf>.

Quipuzcoa Olguín, L.; Aramayo, V.; Velez-Zuazo, X.; Vildoso Giesecke, B.; Valdez Barrios, B. y Tasso Bermell, V. (2019). Guía y criterios de aplicación del índice biótico marino AZTI (AMBI) y AMBI multivariado (M-AMBI) en ambientes marinos someros de la costa central y sur de Perú. *Boletín Instituto del Mar del Perú*, 34(1), 277-305.

<https://repositorio.imarpe.gob.pe/bitstream/20.500.12958/3349/1/Boletin%2034%281%29-18.pdf>.

Raéz Luna, E. y Dourojeanni, M. (2016). *Los principales problemas ambientales políticamente relevantes en el Perú*. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo / Fundación Pronaturaleza / Instituto Prensa y Sociedad / Sociedad Peruana de Derecho Ambiental / Universidad Científica del Sur.

Resolución Jefatural n.º 010-2016-ANA, que aprueba el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales. (11 de enero de 2016). https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/r.j._010-2016-ana_0.pdf.

Resolución Jefatural n.º 202-2010-ANA, que aprueba la clasificación de cuerpos de agua superficiales y marinocosteros. (22 de marzo de 2010). https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/rj_202-2010_1.pdf.

Resolución Ministerial n.º 290-2006-MEM-DM, que aprueba el Inventario Inicial de Pasivos Ambientales Mineros. (19 de junio de 2006).

Resolución Ministerial n.º 584-2018-PRODUCE, que autoriza la transferencia de recursos a favor de IMARPE. (28 de diciembre de 2018). https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/291892/Resoluci%C3%B3n_Ministrial_N_584-2018-PRODUCE_100676_1_20190219-5545-usq0v7.pdf?v=1550599996.

Roldán Pérez, G. (1996). *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia*. FEN Colombia / COLCIENCIAS / Universidad de Antioquia. <https://ianas.org/wp-content/uploads/2020/07/wbp13.pdf>.

Romero, A. A.; Flores, S. L. y Pacheco, W. W. (2010). Estudio de la calidad de agua de la cuenca del río Santa. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de*

Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, 13(25), 61-69.
https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/geologia/v13_n25/pdf/a09v13n25.pdf.

Salcedo Gustavson, S.; Artica Cosme, L. y Andrea Trama, F. (2013). Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de la calidad de agua en la microcuenca San Alberto, Oxapampa, Perú. *Apuntes de Ciencia & Sociedad*, 3(2), 124-139.
<http://journals.continental.edu.pe/index.php/apuntes/article/view/197/195>.

Samboni, N. E.; Reyes, A. y Carbajal, Y. (2011). Aplicación de los indicadores de calidad y contaminación del agua en la determinación de la oferta hídrica neta. *Ingeniería y Competitividad*, 13(2), 49-60.
<https://www.redalyc.org/pdf/2913/291323530004.pdf>.

Sánchez Sepúlveda, H. U. (2011). *Calidad del agua y contexto social como base para la planeación y gestión en cuencas periurbanas. El caso del río Chiquito, Morelia, Michoacán*. [Tesis de maestría]. Universidad Nacional Autónoma de México.
http://132.248.9.195/ptd2012/marzo/0677825/0677825_A1.pdf.

Servicio Nacional de Certificación Ambiental para las Inversiones Sostenibles (2019). Área de influencia en un proyecto de inversión. *Senace Perú*.
<https://www.senace.gob.pe/blog/area-de-influencia-en-un-proyecto-de-inversion/>.

Silverio, W. (2017). Impacto del cambio climático en la cordillera Blanca. En *Foro Internacional de Glaciares y Ecosistemas de Montaña Huaraz. Memoria* (pp. 565-567). Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña / Ministerio del Ambiente.

Strahler, A. y Strahler, A. (1994). *Geografía física*. Omega.

Tapia, L.; Sánchez, T.; Baylón, M.; Jara, E.; Arteaga, C.; Maceda, D. y Salvatierra, A. (2018). Invertebrados bentónicos como bioindicadores de calidad de agua en lagunas

altoandinas del Perú. *Ecología Aplicada*, 17(2), 149-163.

<http://dx.doi.org/10.21704/rea.v17i2.1235>.

Villena Chávez, J. A. (2018). Calidad del agua y desarrollo sostenible. *Revista Peruana de*

Medicina Experimental y Salud Pública, 35(2), 304-308.

<https://doi.org/10.17843/rpmesp.2018.352.3719>.

Vivas-Aguas, L. J.; Espinosa, L. F. y Parra Henríquez, L. G. (2013). Identificación de

fuentes terrestres de contaminación y cálculo de las cargas de contaminantes en el

área de influencia de la Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe colombiano. *Boletín*

de Investigaciones Marítimas y Costeras, 42(1), 7-30.

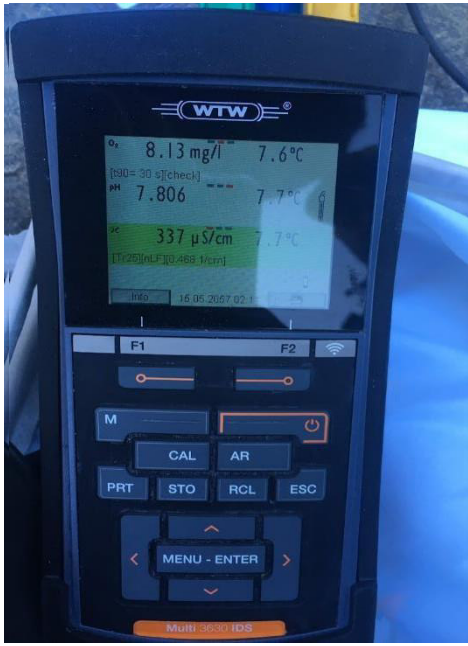
<http://www.scielo.org.co/pdf/mar/v42n1/v42n1a01.pdf>.

ANEXOS

Anexo 1.

Fotografías del proceso de investigación





Anexo 2.

Cadena de custodia de los resultados obtenidos en campo y luego comparados por cada estación con información de la ANA

COLECTA DE MUESTRAS EN CAMPO			EQUIPAMIENTO DEL INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ																		
			WTW			ESPECTROMETRÍA DE MASAS CON PLASMA INCLUIDO NEXION 350X PERKIN ELMER															
ESTAC	DÍA	HORA	OD	pH	T°	Be	V	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Ag	Cd	Sb	Tl	Pb	Hg
Rnegr	13/07/2019	06:33	8.17	7.71	7.7	0.50	21.7	6.00	1114	11.70	8.70	28.5	816	252	0.23	1.87	2.35	2.67	0.11	54.2	0.0380
Rnegr-B			8.16	7.72	7.7	0.51	21.0	6.02	1110	11.61	8.66	26.2	811	245	0.21	1.87	2.37	2.61	0.10	55.7	0.0379
A-Rnegr		07:35	8.02	7.64	7.5	0.47	20.9	5.97	1011	11.58	8.51	27.7	792	255	0.19	1.81	2.33	2.64	0.09	53.8	0.0379
A-Rnegr-B			8.04	7.64	7.5	0.51	21.5	6.01	1105	11.51	8.43	27.1	781	250	0.22	1.77	2.39	2.61	0.10	53.9	0.0378
Rsant6		10:12	7.39	7.65	11.6	0.33	22.3	6.40	489	8.17	8.40	14.1	299	53.2	0.11	0.28	0.95	1.96	0.09	48.5	0.0251
Rsant6-B			7.35	7.63	11.6	0.28	22.0	6.37	480	8.10	8.33	13.8	281	54.2	0.10	0.21	0.91	1.93	0.08	48.1	0.0241
A-Rsant6		10:50	7.43	7.6	11.5	0.31	21.9	6.48	477	8.14	8.21	14.0	277	52.3	0.09	0.25	0.93	1.88	0.07	47.9	0.0267
A-Rsant6-B			7.4	7.55	11.7	0.30	21.7	6.44	479	8.09	8.02	13.3	289	51.9	0.11	0.24	0.94	1.87	0.08	48.1	0.0268
Rsant7		13:33	6.99	7.6	15.1	0.39	24.3	5.80	2092	17.51	13.20	21.2	545	144	0.21	0.32	1.9	3.11	0.22	57.8	0.0817
Rsant7-B			7.02	7.69	15.2	0.41	24.1	5.77	2090	17.41	13.11	20.4	531	148	0.21	0.31	1.98	3.10	0.21	57.1	0.0818
A-Rsant7		14:10	6.9	7.4	15.3	0.35	23.5	5.81	2081	15.70	12.09	21.1	540	140	0.17	0.27	1.87	3.11	0.22	56.8	0.0816
A-Rsant7-B			6.98	7.48	15.5	0.45	23.7	5.78	2084	16.40	12.27	19.8	544	138	0.18	0.22	1.8	3.08	0.19	55.1	0.0817
Rsant8		17:20	7.42	8.2	16.3	1.00	28.1	11.60	2130	25.37	30.30	33.7	1022	73.4	0.28	4.77	3.37	2.24	0.26	53.6	0.1291
Rsant8-B			7.29	8.29	16.2	0.98	27.9	11.59	2131	24.20	28.23	32.5	1011	72.5	0.27	4.71	3.36	2.21	0.22	54.2	0.1295
A-Rsant8		18:00	7.4	8	16	0.97	27.8	11.50	2120	25.20	27.21	31.9	1020	74.5	0.25	4.72	3.3	2.18	0.26	54.2	0.1282
A-Rsant8-B			7.45	7.98	16.1	1.02	28	11.52	2125	23.50	29.43	32.4	1020	70.9	0.21	4.66	3.34	2.2	0.2	55.1	0.1278

Equipo para análisis de metales pesados: Perkin Elmer (NexION 350 ICP-MS), Analizador de mercurio, Marca Milestone. Modelo DM80

Laboratorio de Contaminación Química del Instituto del Mar del Perú (Laboratorio de Investigación)

Tabla de resultados de los metales pesados de la ANA 2013 y 2014

2013	ESTAC	Be	V	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Ag	Cd	Sb	Tl	Pb	Hg
	Rnegr	0.02	22.70	7.10	155.17	3.95	5.35	3.97	31.80	124.30	0.30	0.05	8.97	1.00	0.30	8.76	0.06
	Rsant6	0.02	25.42	6.68	663.74	12.83	10.01	21.99	274.50	47.50	0.30	0.05	3.92	2.40	0.30	36.36	0.06
	Rsant7	0.02	19.32	5.15	569.67	9.92	9.45	14.70	256.90	51.40	0.30	0.05	5.02	2.10	0.30	46.47	0.06
	Rsant8	0.02	20.57	7.09	607.00	7.90	11.39	18.06	265.50	45.10	0.30	0.05	4.29	2.00	0.30	34.39	0.06
	PROM	0.02	22.00	6.51	498.90	8.65	9.05	14.68	207.18	67.08	0.30	0.05	5.55	1.88	0.30	31.50	0.06
	MIN	0.02	19.32	5.15	155.17	3.95	5.35	3.97	31.80	45.10	0.30	0.05	3.92	1.00	0.30	8.76	0.06
MAX	0.02	25.42	7.10	663.74	12.83	11.39	21.99	274.50	124.30	0.30	0.05	8.97	2.40	0.30	46.47	0.06	

2014	ESTAC	Be	V	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Ag	Cd	Sb	Tl	Pb	Hg
	Rnegr	0.06	29.53	8.20	186.92	5.32	5.27	7.91	43.10	20.70	0.30	0.05	2.30	0.60	0.30	8.17	0.06
	Rsant6	0.13	22.50	6.87	442.66	9.25	7.82	20.76	222.60	43.20	0.30	0.05	2.61	2.20	0.30	103.89	0.06
	Rsant7	0.26	21.32	5.94	849.23	14.15	9.69	21.96	522.70	178.60	0.30	0.05	8.32	6.90	0.40	100.67	0.06
	Rsant8	0.30	24.26	7.74	738.00	9.76	11.93	21.95	179.90	132.00	0.30	0.05	3.67	2.50	0.30	84.06	0.06
	PROM	0.19	24.40	7.19	554.20	9.62	8.68	18.15	242.08	93.63	0.30	0.05	4.23	3.05	0.33	74.20	0.06
	MIN	0.06	21.32	5.94	186.92	5.32	5.27	7.91	43.10	20.70	0.30	0.05	2.30	0.60	0.30	8.17	0.06
MAX	0.30	29.53	8.20	849.23	14.15	11.93	21.96	522.70	178.60	0.30	0.05	8.32	6.90	0.40	103.89	0.06	

Equipos de análisis de los metales pesados: Perkin Elmer Optima 8300 ICP-OES ICP – MS Nexion 2000

Servicios Análitos Generales SAG, Laboratorio Acreditado Registro N°LE-047

Tabla de resultados de los macroinvertebrados bentónicos

Estación	Phylum	Clase	Orden	Familia	Género y/o especie	Resultados Org./muestra
R Negr 13/07/19 R1	Cnidaria	Hydrozoa	Anthoathecata	hydridae	<i>Hydra sp.</i>	3
	Annelida	Clitellata	Haplotaxida	Lumbricidae	N.D	15
				Naididae	N.D	38
	Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Baetidae	<i>Andesiops peruvianus</i>	
					<i>Baetodes traversae</i>	1
			Diptera	Blephariceridae	<i>Limnicola sp.</i>	1
				Chironomidae	<i>Cardiocladius sp.</i>	30
					<i>Chironomus sp.</i>	33
					<i>Larsia sp.</i>	26
				Simuliidae	<i>Gigantodax sp.</i>	210
Psychodidae	N.D	1				
Trichoptera	Hydroptilidae	<i>Stactobiella sp.</i>	10			
Arachnida	Trombidiformes	Limnesidae	N.D	1		
Mollusca	Gastropoda		Lymnaeidae	<i>Lymnaea sp.</i>	3	
R Negr 13/07/19 R2	Annelida	Clitellata	Haplotaxida	Lumbricidae	N.D	6
	Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Baetidae	<i>Andesiops peruvianus</i>	23
					Ceratopogonidae	<i>Stilobezzia sp.</i>
			Diptera	Chironomidae	<i>Cardiocladius sp.</i>	38
					<i>Chironomus sp.</i>	15
					<i>Larsia sp.</i>	15
				Muscidae	<i>Lispe sp.</i>	12
				Simuliidae	<i>Gigantodax sp.</i>	368
Stratiomyidae	N.D	1				
Trichoptera	Hydroptilidae	<i>Stactobiella sp.</i>	10			
R Sant 6 13/07/19 R1	Annelida	Clitellata	Haplotaxida	Naididae	N.D	128
	Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae	<i>Chironomus sp.</i>	257

					<i>Larsia</i> sp.	12	
R Sant 6 13/07/19 R2	Nematoda	Chromadorea	Rhabditida	Pratylenchidae	N.D	2	
	Annelida	Clitellata	Haplotaxida	Naididae	N.D	108	
	Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae	<i>Chironomus</i> sp.	189	
				Simuliidae	<i>Gigantodax</i> sp.	3	
R Sant7 13/07/19 R1	Platyhelminthes	Rhabditophora	Tricladida	Dugesiidae	<i>Dugesia</i> sp.	5	
	Nematoda	Chromadorea	Rhabditida	Pratylenchidae	N.D	1	
	Annelida	Clitellata	Haplotaxida	Naididae	N.D	3	
	Arthropoda	Insecta	Diptera	Ephemeroptera	Baetidae	<i>Baetodes traversae</i>	3
				Chironomidae	Cardiocladius	8	
					<i>Chironomus</i> sp.	255	
					<i>Larsia</i> sp.	27	
				Simuliidae	<i>Gigantodax</i> sp.	28	
Muscidae	N.D	3					
	Ostracoda	Podocopida	Cyprididae	N.D	2		
Mollusca	Gastropoda		Lymnaeidae	<i>Lymnaea</i> sp.	65		
R Sant7 13/07/19 R2	Platyhelminthes	Rhabditophora	Tricladida	Dugesiidae	<i>Dugesia</i> sp.	2	
	Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae	<i>Cardiocladius</i> sp.	5	
					<i>Chironomus</i> sp.	231	
				<i>Larsia</i> sp.	17		
				Simuliidae	<i>Gigantodax</i> sp.	32	
Mollusca	Gastropoda		Lymnaeidae	<i>Lymnaea</i> sp.	41		
R Sant8 13/07/19 R1	Cnidaria	Hydrozoa	Anthoathecata	hydridae	<i>Hydra</i> sp.	4	
	Platyhelminthes	Rhabditophora	Tricladida	Dugesiidae	<i>Dugesia</i> sp.	3	
	Annelida	Clitellata	Haplotaxida	Naididae	N.D	40	
	Arthropoda	Insecta	Diptera	Ephemeroptera	Baetidae	<i>Baetodes traversae</i>	1
				Chironomidae	<i>Chironomus</i> sp.	286	
					Simuliidae	<i>Gigantodax</i> sp.	12
					Hydroptilidae	<i>Hydroptila</i> sp.	12
				Trichoptera	Hydropsychidae	<i>Smicridea</i> sp.	26
	Ostracoda	Podocopida	Cyprididae	N.D	8		
Mollusca	Gastropoda		Lymnaeidae	<i>Lymnaea</i> sp.	16		
	Cnidaria	Hydrozoa	Anthoathecata	hydridae	<i>Hydra</i> sp.	2	

R Sant8 13/07/19 R2	Platyhelminthes	Rhabditophora	Tricladida	Dugesidae	<i>Dugesia sp.</i>	2
	Annelida	Clitellata	Haplotaxida	Naididae	N.D	38
	Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae	<i>Chironomus sp.</i>	216
				Simuliidae	<i>Gigantodax sp.</i>	10
			Trichoptera	Hydroptilidae	<i>Hydroptila sp.</i>	5
				Hydropsychidae	<i>Smicridea sp.</i>	14
	Ostracoda	Podocopida	Cyprididae	N.D	6	
	Mollusca	Gastropoda		Lymnaeidae	<i>Lymnaea sp.</i>	19

Analista: Isabel Carmona <https://www.researchgate.net/profile/Isabel-Carmona>