



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y
METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



ESTUDIO GEOQUÍMICO Y CALIDAD DE LAS AGUAS
SUPERFICIALES DE LOS RÍOS COATA Y TOROCOCHA,
PROVINCIA SAN ROMÁN – PUNO

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. NOEMI CALLATA CALLATA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO GEÓLOGO

PUNO – PERÚ

2022



DEDICATORIA

Les dedico la presente tesis, los éxitos obtenidos y los que obtendré a mis queridos padres Policarpo y Rosa, quienes con su esfuerzo y paciencia me brindaron su apoyo incondicional durante mis estudios.

A mis apreciados hermanos Jose y Ruth, quienes conforman una pieza muy importante en mi vida, los amo.

Noemi Callata



AGRADECIMIENTOS

- A Dios, por brindarme fortaleza, bienestar para mis seres queridos y guiarme por el camino correcto.
- De igual manera doy gracias a mi familia quienes siempre me brindaron su apoyo durante la elaboración del presente proyecto de investigación.
- A mi asesor D.Sc. Miguel Elías Calcina Benique, por compartir su experiencia, conocimiento y guiarme durante la redacción de la presente investigación.
- A mi alma Mater la Universidad Nacional del Altiplano, Escuela Profesional de Ingeniería Geológica y a todos los docentes, por formarme académicamente y por todas las enseñanzas impartidas.
- Quiero agradecer a Jesus Coila, quien me brindo su apoyo en todas las actividades realizadas. De la misma manera le doy las gracias a la Ing. Roxana Nila Medrano y Ing. Yessenia Velasquez, también a mi amigo Fredy Montesinos y a mi tío Mario Callata, quienes hicieron su participe en las actividades realizadas en campo.
- Así mismo, agradezco a todas las personas que de una u otra forma colaboraron para la culminación de la presente tesis.

Noemi Callata



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ACRONIMOS

RESUMEN 22

ABSTRACT..... 23

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES..... 26

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 30

1.2.1. Problema general..... 31

1.2.2. Problemas específicos 31

1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN..... 32

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN 32

1.4.1. Objetivo general 32

1.4.2. Objetivos específicos..... 32

1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN..... 33

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. GEOQUÍMICA AMBIENTAL 36

2.1.1. Geoquímica aplicada al medio ambiente 36

2.2. MOVILIDAD DE LOS ELEMENTOS 38

2.3. ELEMENTOS MAYORES, MENORES Y TRAZAS 39

**2.4. INFLUENCIA DE FACTORES AMBIENTALES EN LA GEOQUÍMICA
DE AGUAS 41**

2.4.1. Contaminaciones medioambientales en aguas superficiales 41



2.4.2. Fuentes de contaminación	42
2.4.3. Factores medioambientales que controlan la composición de las aguas naturales.....	43
2.4.4. Distribución de las especies metálicas en solución	45
2.4.5. Relación calidad agua – litología	47
2.5. CONTAMINACIÓN AMBIENTAL.....	54
2.5.1. Tipos de contaminación ambiental.....	54
2.6. EL AGUA	56
2.7. CALIDAD DEL AGUA.....	57
2.8. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL AGUA.....	58
2.8.1. Iones mayoritarios	58
2.8.2. Representación de datos en diagramas hidroquímicos.....	62
2.9. RELACIONES IÓNICAS.....	65
2.10. IMPORTANCIA DEL ANÁLISIS DE LOS METALES PESADOS EN AGUAS.....	70
2.11. METALES PESADOS	70
2.11.1. Peligrosidad de los metales pesados.....	71
2.11.2. Aluminio (Al).....	72
2.11.3. Arsénico (As)	73
2.11.4. Cadmio (Cd).....	74
2.11.5. Cromo (Cr)	75
2.11.6. Hierro (Fe).....	76
2.11.7. Manganeseo (Mn)	76
2.11.8. Mercurio (Hg)	78
2.11.9. Plomo (Pb).....	79
2.11.10. Zinc (Zn)	79
2.12. PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS.....	80
2.12.1. Conductividad eléctrica (CE).....	80
2.12.2. Temperatura (T°).....	81
2.12.3. Potencial de hidrogeno (pH)	82



2.12.4. Dureza	83
2.12.5. Solidos disueltos totales (TDS)	83
2.12.6. Oxígeno disuelto (OD)	84
2.13. NORMATIVIDAD LEGAL VIGENTE	85
2.13.1. Constitución política del Perú de 1993	85
2.13.2. Ley general del ambiente (2005) – ley N°28611.	85
2.13.3. Ley de recursos hídricos - ley N°29338.	86
2.13.4. Decreto supremo N°004-2017-MINAM	86
CAPÍTULO III	
MATERIALES Y MÉTODOS	
3.1. MATERIALES Y EQUIPOS	97
3.2. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	98
3.2.1. Precampo	98
3.2.2. Campo	99
3.2.3. Postcampo	110
3.3. SOFTWARES UTILIZADOS	112
CAPÍTULO IV	
CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	
4.1. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	113
4.1.1. Ubicación política	113
4.1.2. Ubicación geográfica.....	113
4.2. ACCESIBILIDAD AL ÁREA DE ESTUDIO.....	115
4.3. ASPECTOS CLIMÁTICOS	115
4.3.1. Temperatura	115
4.3.2. Precipitación.....	116
4.3.3. Humedad	116
4.3.4. Vientos	116
4.4. FAUNA Y FLORA	117
4.4.1. Fauna	117



4.4.2. Flora	121
4.5. ASPECTOS SOCIALES	123
4.6. CONTEXTO GEOLÓGICO	127
4.6.1. Depósitos Cuaternarios	127
4.6.2. Formación Azángaro (NQ-az).....	129
4.6.3. Formación Tacaza (PN-t).....	129
4.6.4. Formación Chucuito (P-chu).....	130
4.6.5. Formación Ayabacas (Kis-ay).....	132
4.6.6. Formación Huancané (Ki-hn).....	134
4.6.7. Grupo Iscay (PE-i)	135
4.6.8. Grupo Ambo (Cm-a/s)	136
4.6.9. Grupo Cabanillas (D-ca)	137
4.6.10. Formación Calapuja (O-ca).....	138
4.7. HIDROGRAFÍA DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	142
4.8. ORIGEN DE LA CUENCA DEL RÍO COATA.....	143
4.8.1. Contaminación de la cuenca del río Coata	146
4.9. ORIGEN DEL RÍO TOROCOCHA.....	148
4.9.1. Contaminación del río Torococha	150
4.9.2. Caudal de los ríos	154

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. CONCENTRACIÓN DE LOS PRINCIPALES PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DE LAS AGUAS SUPERFICIALES DE LOS RÍOS COATA Y TOROCOCHA.....	155
5.1.1. Ubicación de las estaciones de muestreo	155
5.1.2. Concentración de los principales parámetros fisicoquímicos de las aguas de los ríos Coata y Torococha.	155
5.2. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DEL AGUA E IDENTIFICACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE METALES PESADOS (Al, As, Cd, Cr, Fe, Hg, Mn, Pb y Zn) DE LOS RÍOS COATA Y TOROCOCHA.	168



5.2.1. Caracterización química de las aguas superficiales de los ríos Coata y Torococha	168
5.2.2. Concentraciones de metales pesados (Al, As, Cd, Cr, Fe, Hg, Mn, Pb y Zn) en las aguas superficiales de los ríos Coata y Torococha.....	181
5.3. CALIDAD DEL AGUA SEGÚN LAS CONCENTRACIONES DE LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS Y METALES PESADOS (Al, As, Cd, Cr, Fe, Hg, Mn, Pb y Zn) CON LOS ESTÁNDARES ESTABLECIDOS DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA	183
5.3.1. Resultados de los laboratorios por ICP-OES para metales pesados y datos fisicoquímicos obtenidos en campo y laboratorio de las aguas superficiales de los ríos Coata y Torococha.	183
5.3.2. Contaminación según las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos	188
5.3.3. Contaminación según las concentraciones de los metales pesados.....	197
5.4. RELACIONES GEOQUÍMICAS DE ACUERDO CON LAS CONCENTRACIONES DE LOS IONES QUE PRESENTAN LAS AGUAS SUPERFICIALES DE LOS RÍOS COATA Y TOROCOCHA	204
5.4.1. Relaciones iónicas en las aguas superficiales de los ríos Coata y Torococha	204
VI. CONCLUSIONES	212
VII. RECOMENDACIONES	213
VIII. REFERENCIAS	214
ANEXOS.....	221

Área: Ingeniería Geológica.

Línea: Medio Ambiente.

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 28 de diciembre de 2022



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de Piper - Hill - Langelier	62
Figura 2. Diagrama de Stiff modificado.....	63
Figura 3. Diagrama de Schoeller-Berkaloff	64
Figura 4. Diagrama Durov.....	64
Figura 5. Significado de las relaciones iónicas e información que puedan proporcionar.	69
Figura 6. Se muestra la ubicación de los puntos de muestreo en imagen satelital...	101
Figura 7. Muestreo de agua para el análisis de metales pesados. Estación de muestreo TorcM1: Coordenadas UTM: E: 382814 - N: 8287060.....	103
Figura 8. Estación de muestreo TorcM2. Coordenadas UTM: E: 385060 – N: 8285202. Muestreo de agua para análisis de metales pesados.....	104
Figura 9. Estación de muestreo CoatM3. Coordenadas UTM: E: 385378 - N:8285359. A) Figura correspondiente del 1er muestreo.....	104
Figura 10. Estación de muestreo CoatM4. Coordenadas UTM: E: 385069 – N: 8285593. Muestreo de agua para análisis de metales pesados.....	104
Figura 11. Estación de muestreo CoatM5. Coordenadas UTM: E: 385295 - N: 8286638. Muestreo de agua para el análisis de metales pesados.....	105
Figura 12. Se presentan las muestras obtenidas del 1er muestreo realizado el 18/06/2021. Para su respectivo análisis de metales pesados en el laboratorio Analytical Laboratory E.I.R.L.....	105
Figura 13. Se observan las muestras obtenidas del 2do muestreo realizado el 26/06/2022. Para el análisis de metales pesados en el Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.....	106
Figura 14. En la figura se presenta los equipos que se utilizó para la toma de datos de los parámetros fisicoquímicos en campo in-situ.....	107
Figura 15. Estación de muestreo TorcM1. Se observa la obtención de datos de los parámetros fisicoquímicos en campo.....	108
Figura 16. Estación de muestreo TorcM2. Se presenta la obtención de datos de los parámetros fisicoquímicos en campo.....	108
Figura 17. Obtención de datos de los parámetros fisicoquímicos in-situ. Realizado en el 2do muestreo, fecha 26/06/2022.....	108
Figura 18. Se muestra la medición de los parámetros fisicoquímicos en campo..	109



Figura 19. Se aprecia el muestreo realizado 26/06/2022, para el análisis fisicoquímico en el laboratorio de aguas INIA – PUNO.	110
Figura 20. Ubicación geográfica de la zona de estudio.	114
Figura 21. Vista de la crianza del ganado vacuno en la comunidad de Canchi Chico – distrito Caracoto.	117
Figura 22. Vista del río Coata, aguas abajo de la zona del vertimiento de aguas del río Torococha en el río Coata. Se puede observar flamencos andinos (Parihuana).	119
Figura 23. En la figura se presenta el pato silvestre.	119
Figura 24. Se aprecia el Águila, la fotografía fue tomada en la zona de estudio en el río Coata a 200 m del puente Churi.	120
Figura 25. Se aprecia el ave Láridos más conocido como Gaviota, en el río Coata en el puente Churi.	120
Figura 26. Se observa el Stipa ichu en los alrededores de los ríos Coata y Torococha.	121
Figura 27. Vista del río Torococha en el cual se aprecia el crecimiento de la Totorá.	121
Figura 28. Vista del cultivo de la avena en los alrededores del río Coata. Aproximadamente a 200 m de la desembocadura del río Torococha.	122
Figura 29. Se aprecia el cultivo de la quinua.	123
Figura 30. Vista panorámica de la comunidad de Canchi Chico del distrito de Caracoto. En el cual se aprecia la cuenca baja del río Coata aguas.	124
Figura 31. Se muestra en la figura A y B, sistema existente para la obtención de agua para el consumo de algunos pobladores de la comunidad de Canchi Chico del distrito de Caracoto.	125
Figura 32. Vista de algunos sectores de la comunidad de Canchi Chico del distrito de Caracoto, se abastecen de agua potable mediante camión cisterna.	125
Figura 33. Elaboración de tunta o moraya. Pobladores de Juliaca y Caracoto que residen a las orillas del cauce	126
Figura 34. Vista de crianza de ganado vacuno en la comunidad de Canchi Chico del distrito de Caracoto.	126
Figura 35. Vista SW-NE donde se visualiza el Grupo Ambo y bofedales.	127
Figura 36. Vista SE-NW se visualiza el depósito fluvial del río Coata con sistema fluvial meándrico. Compuestos de sedimentos arenosos.	128
Figura 37. Vista E-W río Coata se visualiza los depósitos cuaternarios: fluviales y aluviales.	128



Figura 38. Afloramiento del Grupo Tacaza.....	130
Figura 39. Afloramiento de la Fm. Ayabacas y Chucuito.....	131
Figura 40. Vista NW-SE, en la comunidad de Canchi Chico. Se visualiza el afloramiento de la Formación Chucuito.....	131
Figura 41. Muestra de mano arenisca y conglomerado de la Fm. Chucuito, E: 385826.82 - N: 8286462.7.....	132
Figura 42. Vista NW-SE (Vista al NE del Puente Churi) comunidad de Canchi Chico. Se visualiza la Formación Ayavacas alrededor del río Coata.....	133
Figura 43. Muestra de mano de roca caliza de la Fm. Ayabacas E:385826.8 - N: 8286462.8.....	133
Figura 44. Vista W-E (vista al norte del puente Churi) se visualiza la Fm. Ayabacas y depósito cuaternario fluvial.....	134
Figura 45. Afloramiento de lavas del Grupo Iscay con fuerte fracturadas, vista tomada al sureste, ubicado en el cerro mono al sur de la ciudad de Juliaca.....	136
Figura 46. Se visualiza niveles de diamictitas en la base del Grupo Ambo en el cerro monos ubicado al sur de la ciudad de Juliaca (salida Arequipa).	137
Figura 47. Mapa geológico del cuadrángulo de Juliaca (zona de estudio).....	141
Figura 48. Sub unidades hidrográficas (subcuencas) - cuenca del río Coata.	142
Figura 49. Vista de la parte alta de la cuenca	144
Figura 50. Vista de la parte media de la cuenca	144
Figura 51. Vista de la parte alta de la cuenca del río Lampa.....	145
Figura 52. Vista del río Coata en las coordenadas UTM: N:8289963.6 - E: 381364.1 – Z: 3866 “puente independencia”.	145
Figura 53. Río Coata, fotografía tomada en tiempo de avenida. 20/02/2022. En las coordenadas UTM: N: 8285593 - E: 385069.....	146
Figura 54. Vista del río Coata, fotografía tomada en época de estiaje. En las fechas 05/05/2022. En las coordenadas UTM: N:8286565.7 - E:385161.4.....	146
Figura 55. Vista del río Coata en la desembocadura del río Torococha. Coordenadas UTM: N: 8285359 – E: 385378. Donde se aprecia la zona del vertimiento del río Torococha en el río Coata. Se ve la contaminación que ocasiona las aguas del río Torococha.	147
Figura 56. La población del distrito de Caracoto y Juliaca, hacen uso el agua del río Coata para el lavado de carros, ropa y para otras actividades.....	148



Figura 57. Vista al oeste del lugar desde donde nace el río Torococha (faldas del cerro Chullunquiani)..	148
Figura 58. Vista del origen del río Torococha. A) Acumulación de agua producto de las fuertes precipitaciones pluviales. B) Río Torococha ingresando a la ciudad de Juliaca..	149
Figura 59. Vista del río Torococha “zona urbana” en la Urb. San Julián (salida Arequipa) parte oeste de la ciudad de Juliaca.	149
Figura 60. Vista del puente San Isidro, "centro de la ciudad de Juliaca"	150
Figura 61. Vista de la desembocadura del río Torococha.	150
Figura 62. Vista de la existencia de letrina a la orilla del río Torococha. En las coordenadas UTM. N: 8286423 – E: 374612. Fecha 20/02/202.	151
Figura 63. Vista de la colmatación del río ya sea con material orgánico e inorgánico, “zona urbana” en la Urb. San Julián parte oeste de la ciudad de Juliaca... ..	152
Figura 64. Vista de la interrupción del río Torococha con la lotización de terreno en pleno cauce, de esta forma es interrumpido el flujo natural existente. N: 8286423 – E: 374612.	152
Figura 65. Se muestra en las figuras, parte oeste de la ciudad de Juliaca, de cómo la población aledaña al río depositan residuos sólidos	152
Figura 66. Vista del río Torococha aproximadamente a 200 metros antes del vertimiento en el río Coata. Se puede apreciar la turbidez y solidos suspendidos en el agua e ingresa con todos sus contaminantes al río Coata. E: 385060 – N: 8285202. Fotografía captada en época de estiaje. 26/06/2022.	153
Figura 67. Vista de la zona de confluencia de los ríos Coata y Torococha. Se aprecia la contaminación que realiza el río Torococha al ingresar al río Coata.....	153
Figura 68. Presentación del hidrograma de caudal del río Coata del año 2021 hasta agosto del 2022.....	154
Figura 69. Comportamiento de la temperatura en época de estiaje junio del 2021 y 2022.	159
Figura 70. Concentraciones de la CE en época de estiaje, junio del 2021 y 2022	161
Figura 71. Concentraciones del pH en época de estiaje, junio del 2021 y 2022	163
Figura 72. Concentraciones del oxígeno disuelto en época de estiaje, junio del 2021 y 2022.....	165
Figura 73. Concentraciones del TDS en época de estiaje, junio del 2022.....	166
Figura 74. Presentación del diagrama de Piper con las estaciones de monitoreo ploteadas del río Torococha.	169



Figura 75. Presentación del diagrama de Piper con las estaciones de monitoreo ploteadas del río Coata.	170
Figura 76. Diagrama de Stiff presenta las concentraciones de los iones de las estaciones muestreadas del río Torococha en la época de estiaje - junio 2022.	171
Figura 77. Diagrama de Stiff presenta las concentraciones de los iones de las estaciones muestreadas del río Coata en la época de estiaje - junio 2022.	173
Figura 78. Diagrama de Schoeller, presenta las concentraciones de los principales cationes y aniones de las estaciones muestreadas del río Torococha en la época de estiaje - junio 2022.	174
Figura 79. Diagrama de Schoeller, presenta las concentraciones de los principales cationes y aniones de las estaciones muestreadas del río Coata en la época de estiaje - junio 2022.	176
Figura 80. Diagrama de Durov del río Coata con las estaciones de monitoreo ploteada.	177
Figura 81. Diagrama de Durov del río Coata con las estaciones de monitoreo ploteada.	178
Figura 82. Representación del diagrama Wilcox con las estaciones de monitoreo ploteada de las aguas del río Torococha.	179
Figura 83. Representación del diagrama Wilcox con las estaciones de monitoreo ploteada de las aguas del río Coata.	180
Figura 84. Presentación de las concentraciones halladas de las estaciones de monitoreo realizado tanto en el 1er y 2do muestreo.	182
Figura 85. Comportamiento de la conductividad eléctrica (uS/cm) en aguas de los ríos Coata y Torococha. Junio de 2021 y 2022.	189
Figura 86. Comportamiento del pH en aguas de los ríos Coata y Torococha. Junio de 2021 y 2022.	191
Figura 87. Comportamiento del oxígeno disuelto en aguas de los ríos Coata y Torococha. Junio de 2021 y 2022.	192
Figura 88. Comportamiento del TDS en aguas de los ríos Coata y Torococha.	194
Figura 89. Comportamiento del Cl ⁻ en aguas de los ríos Coata y Torococha. Junio del 2022.	195
Figura 90. Comportamiento del NO ₃ ⁻ en aguas de los ríos Coata y Torococha. Junio del 2022.	197
Figura 91. Comportamiento del arsénico (mg/L) en aguas de los ríos Coata y Torococha. Junio de 2021 y 2022.	198



Figura 92. Comportamiento del hierro (mg/L) en aguas de los ríos Coata y Torococha. Junio de 2021 y 2022.	200
Figura 93. Comportamiento del manganeso (mg/L) en aguas de los ríos Coata y Torococha. Junio de 2021 y 2022.	202
Figura 94. Relación entre los iones magnesio y calcio en las aguas superficiales de los ríos Coata y Torococha de la provincia de San Román - Puno.	206
Figura 95. Relación entre los iones potasio y sodio en las aguas superficiales de los ríos Coata y Torococha.	207
Figura 96. Relación entre los iones sulfato y cloruro en las aguas superficiales de los ríos Coata y Torococha.	208
Figura 97. Relación entre los iones sodio y calcio – sodio y magnesio en las aguas superficiales de los ríos Coata y Torococha.	209
Figura 98. Relación entre los iones calcio y cloruro – magnesio y cloruro - sodio y cloruro en las aguas superficiales de los ríos Coata y Torococha.	210
Figura 99. Relación entre los iones nitrato y cloruro en las aguas superficiales de los ríos Coata y Torococha.	211



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Tabla Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable.....	90
Tabla 2.	Riego de vegetales y bebida de animales.....	93
Tabla 3.	Conservación del ambiente acuático.....	95
Tabla 4.	Equipos y materiales que se utilizaron en el desarrollo del trabajo de investigación.	97
Tabla 5.	Coordenadas UTM (WGS 84) de los puntos de monitoreo.	100
Tabla 6.	Ubicación política del área de estudio.	113
Tabla 7.	Ubicación geográfica del área de estudio.	113
Tabla 8.	Accesibilidad al área de estudio.....	115
Tabla 9.	Columna estratigráfica del cuadrángulo de Juliaca (zona de estudio) a escala regional.	140
Tabla 10.	Limite hidrográfico de la cuenca baja del río Coata.	142
Tabla 11.	Ubicación de las estaciones de muestreo en las aguas de los ríos Coata y Torococha.	155
Tabla 12.	Resultados de la obtención de datos de los principales parámetros fisicoquímicos del primer (1er) monitoreo in-situ de los ríos Coata y Torococha.	156
Tabla 13.	Resultados de la obtención de datos de los principales parámetros fisicoquímicos del segundo (2do) monitoreo in-situ de los ríos Coata y Torococha.	156
Tabla 14.	Resultados de los parámetros fisicoquímicos obtenidos del segundo (2do) monitoreo de los ríos Coata y Torococha, emitido del laboratorio de las aguas del INIA - PUNO.	158
Tabla 15.	Resultado de la medición del parámetro solidos disueltos totales del agua. Datos obtenidos in-situ.	159



Tabla 16. Resultado de la medición de la conductividad eléctrica del agua. Tanto in-situ como en el laboratorio.	160
Tabla 17. Resultados obtenidos tanto in-situ como en laboratorio de la medición del pH del agua.	162
Tabla 18. Resultados obtenidos de la medición del oxígeno disuelto del agua. obtenido tanto in-situ como en el laboratorio.	164
Tabla 19. Resultado de la medición del parámetro solidos disueltos totales del agua. Datos obtenidos en in-situ.....	166
Tabla 20. Concentración de los metales pesados (Al, As, Cd, Cr, Fe, Hg, Mn, Pb y Zn) en las aguas superficiales de los ríos Coata y Torococha, obtenido de los laboratorios ALAB y LAS.	181
Tabla 21. Resultados del 1er muestreo "pruebas de laboratorio de análisis de calidad de agua (ICP-OES) y parámetros fisicoquímicos obtenidos en campo".	184
Tabla 22. Resultados del 2do muestreo "pruebas de laboratorio de análisis de calidad de agua (ICP-OES) y parámetros fisicoquímicos obtenidos en campo y laboratorio".	186
Tabla 23. Datos de los iones expresado en unidades meq/L del agua de los ríos Coata y Torococha.	204



ÍNDICE DE ACRONIMOS

ANA	: Autoridad Nacional del Agua
D.S.	: Decreto Supremo
ECA	: Estándares de Calidad Ambiental
subcatg. A1	: Subcategorías A1 (aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección)
subcatg. A2	: Subcategorías A2 (aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional)
subcatg. D1	: Subcategorías D1 (riego de vegetales)
subcatg. D2	: Subcategorías D2 (bebida de animales)
subcatg. E2	: Subcategoría E2: Ríos – costa y sierra (conservación del ambiente acuático)
et. al.	: y otros
s. f	: Sin fecha
etc	: Etcétera
CE	: Conductividad eléctrica
pH	: Potencial de hidrogeno
TDS	: Solidos disueltos totales
OD	: Oxígeno disuelto
μS	: Microsiemens
mS	: Milisiemens
°C	: Grados centígrados
mg/L	: Miligramos por litro
Km	: Kilometro
m	: Metro



Und	: Unidad
ALAB	: Analytical Laboratory
LAS	: Laboratorio Analítico del Sur
EPP	: Equipo de protección personal
MINAM	: Ministerio del ambiente
INGEMMET	: Institución Geológico Minero y Metalúrgico
SENAMHI	: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.
ICP-OES	: Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (Espectroscopia de Emisión de Plasma Óptica Inductivamente Conectada)
WHO (OMS)	: World Health Organization (organización mundial de la salud)
GPS	: Global Positioning System (Sistema de Posición Global).
WGS84	: World Geodetic System 84
UTM	: Universal Transverse Mercator (Sistema de Coordenadas Universales Transversal de Mercator).
GIS	: Geographic Information System (Sistema de Información Geográfica).
PTAP	: Planta de Tratamiento de Agua Potable
NW	: Noroeste
NE	: Noreste
SW	: Suroeste
SE	: Sureste
Ca	: Calcio
Mg	: Magnesio
K	: Potasio



Na	: Sodio
Cl⁻	: Cloruro
SO₄⁻²	: Sulfato
CO₃⁻²	: Carbonato
HCO₃⁻	: Bicarbonato
NO₃⁻	: Nitrato
Al	: Aluminio
As	: Arsénico
Cd	: Cadmio
Cr	: Cromo
Fe	: Hierro
Hg	: Mercurio
Mn	: Manganeso
Pb	: Plomo
Zn	: Zinc



RESUMEN

El área de estudio está ubicada en la provincia de San Román del departamento de Puno. La presente investigación se centra en identificar las concentraciones de los principales parámetros fisicoquímicos, determinar la caracterización química del agua e identificar las concentraciones de los metales pesados (Al, As, Cd, Cr, Fe, Hg, Mn, Pb y Zn), determinar la calidad del agua según las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos y metales pesados analizados, y explicar las relaciones geoquímicas de acuerdo con las concentraciones de los principales iones que presentan las aguas superficiales de los ríos Coata y Torococha. La metodología consistió en ubicar cinco puntos estratégicos en los ríos para la obtención de datos fisicoquímicos in-situ y en laboratorio, se analizó por ICP-OES en los laboratorios ALAB y LAS, realizado en época de estiaje junio 2021 y 2022; se utilizó el software ArcGIS para la creación de mapas, excel para el tratamiento estadístico de los datos, y el modelamiento geoquímico se procesó en el programa AquaChem. De acuerdo a la identificación de las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos, las aguas del río Torococha presentan concentraciones mayores de conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, valores menores de oxígeno disuelto y el ámbito de valores de pH medidos en las aguas estudiadas estuvo entre 7.58 a 8.39 ligeramente alcalino. La caracterización química que presentan es de composición “clorurada cálcica magnésica” y “clorurada y/o sulfatada cálcica magnésica”. Se identificó que hay presencia de las concentraciones de los metales pesados como Al, As, Fe y Mn. Las aguas del río Torococha son de muy mala calidad, ya que no todas las concentraciones de los parámetros analizados cumplen los límites permisibles establecidos por la ECA-AGUA para las subcategorías evaluadas “A1, A2, D1, D2 y E2”, sucede algo similar en el río Coata, con excepción las aguas arriba de la confluencia de los ríos son aptos para las subcategorías D1 y D2. Las relaciones geoquímicas con los iones como Mg/Ca, SO₄/Cl, Na/Ca, Na/Mg, Ca/Cl, Mg/Cl, Na/Cl y NO₃/Cl, permitió identificar los procesos que modificaron la composición química de las aguas superficiales estudiadas.

Palabras clave: Agua superficial, Calidad del agua, Fisicoquímico, Geoquímica, Metales pesados.



ABSTRACT

The study area is located in the province of San Román from the department of Puno. The present investigation focuses on identifying the concentrations of the main physicochemical parameters, determine the chemical characterization of the water and identify the concentrations of heavy metals (Al, As, Cd, Cr, Fe, Hg, Mn, Pb y Zn), determine the quality water according to the concentrations of the physicochemical parameters and heavy metals analyzed, and explain the geochemical relationships according to the concentrations of the main ions that the waters present the surface waters of the Coata and Torococha rivers. The methodology consisted of locating five strategic points in the rivers for obtaining physicochemical data both on-site and in the laboratory, it was analyzed by ICP-OES in the ALAB and LAS laboratories, made in the dry season June 2021 and 2022; ArcGIS software was used for the creation of maps, excel for the statistical treatment of the data, and the geochemical modeling was processed in the AquaChem program. According to the identification of the concentrations of the physicochemical parameters, the waters of the Torococha river present higher concentrations of electric conductivity, solids dissolved total, minor values of dissolved oxygen and the range of pH values measured in the studied waters was between 7.58 to 8.39 slightly alkaline. The chemical characterization that they present is of composition “chlorided calcium magnesium” and “chlorided and/or sulfated calcium magnesium”. It was identified that there are concentrations of heavy metals such as Al, As, Fe y Mn. The waters of the Torococha river are of very bad quality since not all the concentrations of the analyzed parameters meet the permissible limits established by the ECA-WATER for the evaluated subcategories “A1, A2, D1, D2 and E2”, something similar happens in the Coata river, with exception of the upstream of the confluence of the rivers they are suitable for subcategories D1 and D2. The geochemical relationships with ions such as Mg/Ca, SO₄/Cl, Na/Ca, Na/Mg, Ca/Cl, Mg/Cl, Na/Cl y NO₃/Cl, allowed to identify the processes that modified the chemical composition of the studied Surface waters.

Key Words: Superficial water, Water quality, Physicochemical, Geochemistry, Heavy metals.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La contaminación de los ríos en los últimos años ha incrementado inmoderadamente, esto se debe a que la mayoría de empresas aún desconocen el buen uso que se debe dar a este recurso y vierten cantidades de productos contaminantes los cuales son derivados de sus procesos industriales. A ello se suma el aumento de la temperatura, uso de pesticida en la agricultura y deforestación. La escasez de la práctica de la cultura ambiental por parte de los seres humanos lo cual influye bastante en la contaminación ya esta sea en agua, suelo o aire.

En nuestro país “Perú”, la contaminación de los ríos se debe a la actividad minera a nivel nacional. Con el vertimiento de aguas residuales, el cual tiene contenido de metales pesados, esta proviene de la gran, media y pequeña minería. También la actividad humana incrementa el contenido de estos metales en el ambiente, siendo esta sin duda la causa más frecuente de las concentraciones de metales pesados.

En el caso de la extracción de minerales en nuestro país, que es un verdadero motor de la economía y que tiene grandes potencialidades por la naturaleza mineralógica privilegiada, las medidas que se adoptan para su desarrollo deben incorporar plenamente la situación sanitaria de la población y prestar atención a la protección de las fuentes de agua para las actividades agropecuarias, acuícolas, recreacionales y de abastecimiento para consumo humano, es necesario conocer el nivel de explotación regional – con énfasis en los metales pesados – y contaminantes afines, para definir estrategias en todos los campos sociales, económicos, ambientales y especialmente tecnológicos (Villena, 2018).



Los principales factores contaminantes son los residuos sólidos, aguas residuales (aguas contaminadas) y pasivos ambientales.

Para la caracterización química de las aguas se aplica los diagramas de Piper, Schoeller-Berkaloff y Stiff. En el diagrama de Piper se muestra por dos triángulos equiláteros donde se presentan la composición aniónica Cl^- , SO_4^{-2} , CO_3^{-2} , HCO_3^- , NO_3^- y catiónico Ca, Mg, K, Na del agua la intersección de la proyección de ambos puntos trazadas paralelamente en un campo central romboidal que indica la composición del agua deducida a partir de los aniones y cationes. En el diagrama de Schoeller-Berkaloff se puede emplear una escala semilogarítmica para representar las concentraciones de iones y así mismo, para la representación espacial de los tipos de agua se puede hacer a través de los diagramas de Stiff (Eleuterio & Fernando, 2018). Los diagramas de Durov y Wilcox nos proporcionan la información de la calidad de agua para fines de riego.

El presente trabajo de investigación se basa en el estudio geoquímico y calidad de las aguas superficiales de los río Coata y Torococha de la provincia de San Román, permite determinar la caracterización de las aguas, con las concentraciones de los principales parámetros fisicoquímicos e identificar las concentraciones de metales pesados como (Al, As, Cd, Cr, Fe, Hg, Mn, Pb y Zn), permitiendo identificar los focos de contaminación relacionados a las actividades antrópicas o influencia de la formación geológica existente de la zona. Así mismo las concentraciones encontradas tanto fisicoquímico e inorgánicos, lo cual será comparado con las normas legales de Estándares de Calidad Ambiental (ECA - 2017) para agua, con las siguientes categorías: Categoría 1: subcategorías A1 (aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección) y A2 (aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional). Categoría 3: subcategoría D1 (riego de vegetales) y D2 (bebida de animales). Categoría 4: conservación del ambiente acuático, subcategoría E2: ríos – costa y sierra. Con el objetivo de saber que tan



contaminados se encuentran los cuerpos hídricos superficial para las categorías mencionadas. Los parámetros que superen por encima o por debajo de los límites permisibles de las categorías mencionadas nos permitirán determinar la calidad de las aguas superficiales de los ríos. Para ello se aplica la metodología de ubicar cinco (05) puntos estratégicos en los ríos Torococha y Coata para la obtención de datos fisicoquímicos tanto insitu como en laboratorio, se realizó dos monitoreos de cada estación de muestreo, se obtuvo datos fisicoquímicos insitu con el equipo multiparámetro y análisis por ICP-OES para metales pesados (Al, As, Cd, Cr, Fe, Hg, Mn, Pb y Zn) en los laboratorios ALAB y LAS, ambos monitoreos se realizaron en época de estiaje junio 2021 y 2022.

1.1. ANTECEDENTES

En el ámbito local, nacional e internacional los trabajos realizados que más se asocian son los referidos a continuación.

Antecedentes locales

Capacoila (2017) en su tesis, titulado “Evaluación de la concentración de metales pesados en las aguas superficiales del río Coata” el objetivo que se planteó, fue evaluar la presencia y el grado de contaminación de las concentraciones de los metales pesados (Al, Cd, Fe, Mn y Hg) en las aguas superficiales, realizó muestreo en dos épocas (avenida y estiaje) en cinco puntos estratégicos, analizando la concentración de los metales en mención en cada punto por el método de espectrometría por emisión atómica, las concentraciones máximas fueron, aluminio 1.043 mg/L, cadmio 0.000 mg/L, cromo 0.000 mg/L, hierro 0.856 mg/L, manganeso 0.460 mg/L y mercurio 0.000 mg/L, siendo aluminio, hierro y manganeso se encuentran por encima de los límites, mientras cadmio,



romo y mercurio se encuentran dentro de los límites de los estándares de calidad ambiental para agua del ministerio del ambiente, categoría 1.

Por su parte, Gutierrez (2018) en su trabajo de investigación sobre “Evaluación de la calidad de agua del río Coata en la desembocadura del río Torococha utilizando el índice de calidad de agua del consejo canadiense CCME-WQI y el ICA-PE, Puno – 2018” Al realizar los estudios determina, que las concentraciones de los parámetros químicos, microbiológicos y metales pesados del río Coata en la desembocadura del río Torococha, la mayoría de los parámetros cumplen con el ECA – AGUA, categoría 3, a excepción oxígeno disuelto que no cumple con la concentración mínima en M1 y M2, demanda bioquímica de oxígeno que excede en M2 en los tres meses evaluados y coliformes termo tolerantes que excede en M1 en el mes octubre y en M2 en los tres meses evaluados.

Según Inquilla (2020) en su investigación realizado en la cuenca baja del río Coata, Titulado “Calidad microbiológica y fisicoquímica de las aguas del río Coata, Puno – 2018” indica en su conclusión según sus resultados obtenidos para los parámetros tanto fisicoquímicos y metales pesados: coliformes totales, coliformes fecales, demanda bioquímica de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno, cloruros, Pb, As y Cd menciona que estos parámetros se encuentran encima de los límites máximos permisibles, según para la normativa de estándares de calidad ambiental para agua, subcategoría A1. Según a sus resultados evaluados, indica que estas aguas del río Coata es de muy mala calidad.

Tacuri (2019) a través del trabajo de tesis denominado “Determinación de la calidad de agua de pozos artesianos y sus aspectos ambientales asociados, Juliaca, Puno, 2018” obtuvieron resultados de pozos artesanales en donde los datos de parámetros químicos y bacteriológicos según sus resultados obtenidos define que exceden los LMP emitidos por el reglamento de la calidad del agua para consumo humano DS N° 031- 2010



– SA, concluye que el agua de pozos artesianos son considerados no aptos para el consumo humano. Se puede decir que los cuerpos de aguas superficiales influyen en la calidad de aguas subterráneas de la zona de estudio.

También se hizo estudios por parte de la autoridad nacional del agua (ANA) las aguas subterráneas específicamente en dos pozos tubulares situado en los distritos de Caracoto y Juliaca al margen derecho del río Coata, en donde se han identificado estas fuentes contaminadas que podrían tener una influencia los cuerpos de agua superficial los cuales son el río Coata y Torococha.

Por su parte, Quispe et al., (2019) evaluaron las “Concentración de metales pesados como el cromo, cadmio y plomo en los sedimentos superficiales en el río Coata, Perú” en el artículo mencionan que en los sedimentos superficiales del río en la cuenca baja Coata hay presencia de las concentraciones de los metales pesados como Cd, Cr y Pb, sin embargo, el Pb y Cd están por debajo de los límites establecidos en los estándares de calidad ambiental, mientras que Cr se encuentra por encima de los ECA para suelos.

Antecedentes nacionales

Resalta Herrera (2017) en su tema de investigación denominado “Determinación de los niveles de concentración de metales pesados en la cuenca Mashcón – Cajamarca en los meses de setiembre y diciembre, 2016” con el objetivo principal que se plantea en su investigación, es la determinación de los niveles de concentración de metales pesados, luego compararlo con los ECAs para agua, Obteniendo como resultados que, el único metal que se encontró por encima de los ECAs en ambas épocas de monitoreo, fue el Fe.

Asimismo, Humpiri (2017) en su tesis denominado “Concentración de los metales pesados y propuesta de recuperación en la sub-cuenca del río Crucero” – unidad hidrográfica Azángaro, indica que a mayor conductividad eléctrica, mayor concentración



de As, Cd, Cu, Pb, Zn, excepto Hg, al aumentar concentraciones de As, Cd, Cu y Zn, el oxígeno disuelto disminuye. Al incrementar As, se incrementa Cd, Cu, Cr, Pb y Zn, así como el Cobre con el Cr, Pb y Zn, el Cromo con Hg, Pb y Zn. Del mismo modo, el Hg con el Pb y Zn, el Plomo con Zn.

Guillén & Vásquez (2009) en su tema de investigación titulado “Geoquímica ambiental de las aguas del río Colca entre los sectores de Chivay y Tapay – Arequipa” indican para sus resultados y en general que las concentraciones de los principales cationes y aniones permiten clasificar el agua de la zona de estudio en tres composiciones distintas, primera zona, presenta un carácter bicarbonatada – clorurada sódica, por posible influencia de una ligera contaminación antrópica, segunda zona, la composición es de “sulfatada cálcica” como consecuencia de la actividad minera existente en esta zona también influye los afloramientos volcánicos con mineralización de piritita que están expuesta al intemperismo, tercera zona, presentando un carácter “clorurada cálcica” por efectos de disolución.

Antecedentes internacionales

Por su parte Vázquez (2009) en su tesis sobre “Estudio geoquímico de suelos y aguas como base evaluar la contaminación: relación roca-suelo-agua” de la universidad de Madrid, en su conclusión menciona que la composición de un agua varia como consecuencia de una serie de reacciones que tienen lugar en el medio ambiente y, por tanto, puede dar información sobre la influencia del material litológico, edáfico y actividades antropogénicas con los que el agua ha estado en contacto, indica que la composición del agua superficial está determinada por su interacción con el sustrato rocoso de la cuenca.



Destéfanis et al. (2019) investigación que desarrollaron el cual lleva por título “Geoquímica de las aguas superficiales y efectos de la meteorización en la cuenca alta – media del río Ctalamochita – provincia de Córdoba – Argentina” en donde realizaron modelado geoquímico utilizando el programa Aquachem y Phreeqc, en su resultado define que estas aguas presentan un valor medio de pH de 7.60, una alcalinidad media, 2320.61 $\mu\text{eq/L}$, 253.02 $\mu\text{S/cm}$ de CE y 164.46 mg/L de STD, donde clasifica estas aguas bicarbonatadas cálcicas a bicarbonatada mixta, así mismo también indica que la disolución de carbonatos cálcicos magnésicos sería una fuente significativa de Ca^{+2} , Na^{+} y Mg^{+2} en las aguas.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La cuenca del río Coata se forma por la intersección de los ríos Lampa y Cabanillas, en sus nacientes estos ríos son contaminados por la actividad antrópica, vertimiento de aguas residuales municipales y explotación de la minería, ya sea esta artesanal o mecanizado. La Unidad Minera el Cofre – CIEMSA (Consortio de ingenieros ejecutores mineros S.A) ubicado en el distrito de Paratía, provincia de Lampa, departamento de Puno, contribuye con la contaminación con el vertimiento de agua residual al río Paratía el cual desemboca al río Verde, para luego descargar al río Cabanillas, que al juntarse con el río Lampa origina el río Coata que finalmente desagua en el lago Titicaca. También contribuye con la contaminación la minas Palca del (distrito de palca, provincia de Lampa del departamento de Puno) que contamina con el vertimiento de los pasivos ambientales mineros a los ríos de Chila Pampa – VilaVila y este río durante su recorrido de 84 km, toma el nombre de río Palca, 60 km aguas abajo de su trayectoria, toma el nombre de río Lampa.



Por otro lado, el río Torococha (antes), se origina de las faldas del cerro Chullunquiani, donde presenta ojos de agua en forma permanente, es de donde nace el río Torococha ingresando a la ciudad de Juliaca y finalmente desembocando en el río Coata. Actualmente el río Torococha se ha convertido en un canal de desagüe de la ciudad de Juliaca, recolectando las aguas pluviales de los barrios aledaños y las viviendas colindantes a este canal han encausado los desagües de sus domicilios, a esto se suma el vertimiento de aguas producto de la laguna de oxidación del distrito de Juliaca. De esta manera se pretende demostrar cuan contaminado esta las aguas superficiales de los ríos Coata y Torococha. Mas aun es de conocimiento de todos que las aguas abajo de la confluencia de estos ríos, son tomados como aguas de beber por los animales y pobladores aledaños al río. Existe u riesgo en la salud de la población y de los ecosistemas acuáticos en este lugar de estudio.

La zona a estudiar en las aguas superficiales de los ríos Coata y Torococha de la provincia de San Román donde se plantean las siguientes interrogantes:

1.2.1. Problema general

¿Cuál es la calidad de las aguas superficiales y el comportamiento geoquímico de los ríos Coata y Torococha, provincia San Román – Puno?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuánto es la concentración de los principales parámetros fisicoquímicos de las aguas superficiales de los ríos Coata y Torococha?
- ¿Qué características químicas presentan las aguas y cuáles son las concentraciones de metales pesados (Al, As, Cd, Cr, Fe, Hg, Mn, Pb y Zn) de los ríos Coata y Torococha?



- ¿Cuál es la calidad del agua según las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos y metales pesados (Al, As, Cd, Cr, Fe, Hg, Mn, Pb y Zn) en las aguas superficiales de los ríos Coata y Torococha con los estándares establecidos de calidad ambiental para agua?
- ¿Cuáles son las relaciones geoquímicas de acuerdo con las concentraciones de los principales iones que presentan las aguas superficiales de los ríos Coata y Torococha?

1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

Si las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos y metales pesados (Al, As, Cd, Cr, Fe, Hg, Mn, Pb y Zn) en las aguas superficiales de los ríos Coata y Torococha de la provincia de San Román – Puno, exceden los límites máximos permisibles (LMP) establecidos por la ECA-AGUA y la OMS, entonces existe un riesgo en la salud de la población y de los ecosistemas acuáticos en este lugar de estudio. Las relaciones geoquímicas con las concentraciones de los iones indican los procesos sobre la modificación de la composición química de las aguas superficiales de los ríos Coata y Torococha.

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo general

Evaluar la calidad de las aguas superficiales y determinar el comportamiento geoquímico de los ríos Coata y Torococha, provincia San Román – Puno.

1.4.2. Objetivos específicos

- Identificar la concentración de los principales parámetros fisicoquímicos de las aguas superficiales de los ríos Coata y Torococha.



- Determinar la caracterización química del agua e identificar las concentraciones de metales pesados (Al, As, Cd, Cr, Fe, Hg, Mn, Pb y Zn) de los ríos Coata y Torococha.
- Determinar la calidad del agua según las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos y metales pesados (Al, As, Cd, Cr, Fe, Hg, Mn, Pb y Zn) de las aguas superficiales de los ríos Coata y Torococha con los estándares establecidos de calidad ambiental para agua.
- Explicar las relaciones geoquímicas de acuerdo con las concentraciones de los principales iones que presentan las aguas superficiales de los ríos Coata y Torococha.

1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El recurso hídrico es un componente fundamental para todas las actividades humanas, por lo tanto, debe poseer buena calidad de agua, que cuente con un adecuado control monitorizado; en la cuenca del río Coata en la desembocadura del río Torococha, este recurso es utilizado sin ningún tratamiento previo para bebida de sus animales pecuarios, riesgo de cultivo, incluso para consumo humano por las personas que viven en las riberas de este río (Gutierrez, 2018).

La contaminación de la cuenca del río Coata se genera desde sus principales afluentes que vienen ser los ríos Lampa y Cabanillas, en sus nacientes estos ríos son contaminados por la actividad antrópica y explotación de la minería sea esta artesanal o mecanizado. La unidad minera el Cofre – CIEMSA, ubicado en el distrito de Paratía, provincia de Lampa, departamento de Puno, contribuye con la contaminación mediante el vertimiento de aguas residuales al río Paratía el cual desemboca al río Verde, para luego descargar al río Cabanillas, que al juntarse con el río Lampa origina el río Coata que



finalmente desagua en el lago Titicaca. También contribuye con la contaminación el reservorio de la mina Palca pasivo minero Cia (distrito de Palca, provincia de Lampa del departamento de Puno).

En el aspecto social el crecimiento acelerado de la población a lo largo de los ríos Coata y Torococha, genera el incremento de producción de residuos sólidos y vertimiento de líquidos domésticos los cuales aportan con la contaminación del cauce de los ríos Coata y Torococha. Como resultado de esta influencia sobre el río, se hace de vital importancia que se investigue los niveles de contaminación de los ríos Coata y Torococha llevarse a cabo con regularidad.

El presente trabajo constituye de suma importancia el estudio geoquímico y la calidad de las aguas de los ríos Coata y Torococha de la provincia de San Román, permite caracterizar químicamente el tipo de agua superficial que discurre, para ello se determina los parámetros fisicoquímicos como pH, Conductividad eléctrica (CE), sólidos disueltos (TDS), óxidos disueltos (OD), Na, K, Ca, Mg, cloruros, sulfatos, carbonatos, bicarbonatos y los metales pesados. El pH del agua determina la movilidad de los metales pesados, cuando este está por debajo de 5.5 de pH considerada como ácido, entonces la concentración de metales pesados como (Al, As, Cd, Cr, Fe, Hg, Mn, Pb y Zn) será alto. Esta concentración afecta a los animales pecuarios, riesgo de cultivos e incluso la salud de la población. Por las consideraciones anteriores. Así, esta investigación se emprende con los siguientes objetivos: Identificar las concentraciones de los principales parámetros fisicoquímicos, determinar la caracterización química del agua e identificar las concentraciones de metales pesados (Al, As, Cd, Cr, Fe, Hg, Mn, Pb y Zn), determinar la calidad del agua según las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos y metales pesados con los estándares establecidos de calidad ambiental para agua, por último, explicar las relaciones geoquímicas de acuerdo con las concentraciones de los principales



iones que presentan las aguas superficiales de los ríos Coata y Torococha. Los resultados obtenidos sobre el conocimiento de la caracterización química y la calidad del agua, permitirán disponer de información necesaria para el uso adecuado de las aguas, toma de conciencia, segregación de los residuos sólidos y el tratamiento de las aguas residuales antes del ingreso al río, asimismo, para la toma de decisiones adecuadas en el campo de la salud, el medio ambiente y en general en el plano social repercutiendo positivamente en la realidad nacional peruana.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. GEOQUÍMICA AMBIENTAL

La geoquímica es la ciencia que estudia la composición química de la tierra, los procesos y reacciones químicas que rigen la composición de las rocas, suelos y aguas, el transporte de productos químicos en el tiempo y espacio, y las interacciones de estos productos con la hidrosfera y la atmosfera, por otro lado, la geoquímica ambiental estudia los efectos de los procesos químicos naturales o antrópicos los cuales son inducidos por el ser humano sobre el medio ambiente, claro ejemplo, en relación a la presencia de un yacimiento mineral se pueden producir procesos de contaminación por metales pesados de tipo natural o derivados de su explotación minera, la oxidación de una masa de minerales sulfurados y la posterior migración de metales pesados a partir de la misma el cual es un proceso natural, que puede ser fuertemente potenciado por la actividad minera, dado que los metales se encuentran fijados en fase mineral, los derivados de la actividad minera (relaves, escombreras), también pueden constituirse en fuentes de migración de metales pesados y por lo tanto de contaminación (Oyarzun et al., 2010).

2.1.1. Geoquímica aplicada al medio ambiente

la geoquímica aplicada al medio ambiente analiza relaciones entre elementos químicos y los compartimentos ambientales.

El origen de los hechos imputables al hombre, se sitúan de forma genérica en el marco de su actividad industrial, agropecuaria, servicios y en el de su uso final, los agentes de estas acciones son múltiples, siendo quizás los más relevantes por su causa efecto, los elementos y compuestos químicos, entre estos elementos y sus compuestos



asociados, los más conocidos entre los inorgánicos son el As, B, Cd, Cr, Fe, Cu, Pb, Mn, Hg, Ni, Mo, Se y U, los elementos mencionados por ser habituales dentro del ciclo geoquímico, forman parte del entorno natural y en consecuencia dan lugar a zonas enriquecidas por procesos endógenos o exógenos de alcance local o regional, estas zonas se denominan anomalías geoquímicas o contaminación natural (Viladevall et al., 1995). Su importancia, lo puede demostrar el hecho de que la toxicidad de los metales liberados de forma natural, anualmente al medio, por los procesos indicados, supera a la resultante de la contaminación de todos los residuos orgánicos y radiactivos (Viladevall et al., 1995).

2.1.1.1. Procesos geoquímicos

Todos los procesos de origen natural que tienen lugar en la corteza terrestre se pueden clasificar en dos grandes tipos: Procesos primarios y procesos secundarios. Los procesos primarios, son los que tienen lugar en el ambiente de la litósfera por debajo del nivel de circulación de las aguas meteóricas, originados principalmente por los mecanismos de diferenciación magmática y por los procesos metamórficos que tienen lugar a grandes presiones y temperaturas (Viladevall et al., 1995). Los materiales y rocas que son estables dentro de los ambientes primarios, son con cierta frecuencia inestables dentro de los denominados ambientes secundarios; estos se hallan afectados por una serie de procesos físicos y químicos denominados de alteración, siendo los primarios la desintegración o disgregación sin cambios mineralógicos y los secundarios la hidrólisis y la oxidación, los elementos en estos ambientes son liberados al suelo, a las aguas y a la atmósfera (Viladevall et al., 1995).

La alteración química a diferencia de la física implica rotura por medios químicos de los minerales y rocas, así como la dispersión de los elementos liberados, generalmente por el agua a distancia considerable del área fuente, para que todo ello suceda se necesitan



grandes cantidades de oxígeno, CO₂ y agua así como la presencia de cantidades de bacterias, que pueden ser el origen, bien de oxidación o reducción de ciertos elementos (Viladevall et al., 1995). Los productos de la alteración en función de pH y Eh se hallan formados por constituyentes solubles, insolubles y residuales.

2.2. MOVILIDAD DE LOS ELEMENTOS

Los efectos de los elementos pueden causar en su entorno dependen en gran medida de su composición, los metales en suelos no contaminados se encuentran generalmente en especies estables como silicatos y alúminas, en estas asociaciones minerales los elementos pueden considerarse inmóviles, que se refiere a un estado donde difícilmente puede solubilizarse o cambiar de propiedades (Urbina, 2015).

La secuencia de movilidad de los elementos durante la meteorización es controlada por los siguientes factores: Naturaleza de los materiales parentales, naturaleza de las fases formadas recientemente, la solubilidad inherente a los elementos y la cinética de las reacciones, igualmente es importante el tamaño del sistema, el estado de la meteorización y las condiciones ambientales del sistema (Bonorino et al., 2008). La circulación de metales con las aguas esta influenciada por el balance hídrico del agua en el suelo, donde interviene la cantidad de precipitación, evaporación, escorrentía e infiltración del agua, en función de las propiedades fisicoquímicos del suelo, es de resaltar la influencia que ejerce el pH del suelo, ya que la mayoría de los elementos traza, con la excepción de Mo, As y Se, son más móviles en condiciones de acidez creciente, por otra parte, los factores que condicionan la migración de los metales arrastrados por el agua en forma particulada son los relativos a la naturaleza y tamaño de las partículas y al flujo de agua (Jimenez & Párraga, 2011).



Elementos de escasa movilidad

Se trata del Zr, Th, Ti, Al y Fe, elementos casi inmóviles por ser preferentemente retenidos en el residuo sólido de la meteorización. El Zr puede mostrar una íntima asociación con la fase ferruginosa, adsorbido, formando parte de algún mineral como la goethita o incorporado a geles de Al y Ti (Bonorino et al., 2008).

Metales de transición

Los metales de transición como Fe, Zn, Mn, V, Ni, Cr, Co, Cu, Cd y Pb poseen una movilidad intermedia entre los metales alcalinos-alcalino térreos y los considerados de escasa movilidad, el Mn y Fe son movilizados en condiciones reductoras (Bonorino et al., 2008).

2.3. ELEMENTOS MAYORES, MENORES Y TRAZAS

Elementos mayores y menores

Se denominan elementos mayores porque están presentes en altas concentraciones y controlan en gran medida la cristalización de los minerales, mientras los elementos menores comúnmente sustituyen a algunos elementos en los minerales principales (Mn, por ejemplo, sustituye al Fe o Mg en los minerales máficos) (Sánchez & López, 2011).

Mayores. – Concentraciones superiores a 5 mg/L^{-1} , los elementos que destacan son; en Aniones (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-), Cationes (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) (Lillo, 2007).

Los elementos mayores son aquellos en abundancia en la naturaleza como puede ser carbono, hidrógeno y oxígeno, los elementos más demandados en la naturaleza son nitrógeno, fósforo y potasio (Pérez et al., 2015). Las plantas obtienen tanto el carbono



como el oxígeno directamente del aire mediante la fotosíntesis mientras que el hidrogeno procede directamente o indirectamente del agua del suelo (Sánchez & López, 2011).

Menores. – Concentraciones de $10 - 0,01 \text{ mg/L}^{-1}$, los siguientes elementos que se presentan; aniones (NO_3^- , CO_3^{2-} , NO_2^- y F^-), cationes (K^+ , Fe^{2+} , NH_4^+ y Sr^{2+}) (Lillo, 2007).

Son aquellos que se encuentran en menor proporción con respecto a los elementos mayores y tienen poca demanda, están concentradas a menor proporción que los elementos mayores los elementos esenciales para las plantas existen ocho que son requeridos en cantidades pequeñas, por lo cual, se les denomina elementos menores o micronutrientes estos elementos son el B, Cu, Fe, Mn, Zn, Ni, Mo, y Cl (Sánchez & López, 2011). Las plantas pueden tomar algunos elementos que no desempeñan ninguna función beneficiosa, pero que pueden llegar a ser tóxicos tanto para plantas y animales cuando se sobrepasan ciertos límites de su concentración (Sánchez & López, 2011).

Elementos traza

Componentes trazas es de concentraciones inferiores a $0,1 \text{ mg/L}^{-1}$: Br^- , S^{2-} , PO_4^{3-} , BO_3H_2 , NO_2^- , OH^- , I^- , Fe^{+3} , Mn^{+2} , NH_4^+ , H^+ , Al^{+3} , y algunos metales como As, Sb, Cr, Pb, Cu, Zn, Ba, V, Hg, U, etc (Lillo, 2007).

Se consideran oligoelementos o elementos traza (ET) a aquellos que desempeñan un papel fisiológico fundamental o presentan toxicidad potencial y que se encuentran normalmente en cantidades inferiores a $250 \mu\text{g/g}$ en los tejidos corporales, alimentos o agua de bebida, un elemento traza es un elemento químico que se necesita en cantidades pequeñas para asegurar un crecimiento y desarrollo adecuado, su ausencia o concentración por encima del nivel tolerable puede ser perjudicial para el organismo, llegando a ser incluso tóxicos si se toman en cantidades excesivas (Pombo et al., 2001).



2.4. INFLUENCIA DE FACTORES AMBIENTALES EN LA GEOQUÍMICA DE AGUAS

Los mecanismos de transporte de contaminantes en aguas se basan en la interacción entre los tres medios los cuales son: aire, agua y suelo, la contaminación de uno de los medios suele resultar en la contaminación subsecuentes los otros, claro ejemplo, las aguas subterráneas pueden surgir como aguas superficiales en forma de manantiales o descargarse por infiltración en ríos o lagos, también los contaminantes transportados por el viento pueden depositarse en las aguas superficiales y luego ser transportados a otra matriz que puede ser suelo, aire, tejidos vegetales e incluso fauna, igualmente los contaminantes volátiles pueden desprenderse de las aguas subterráneas y difundirse a través del suelo, alcanzando frecuentemente la superficie (Castro, 2007).

2.4.1. Contaminaciones medioambientales en aguas superficiales

El agua superficial disponible en el Perú es relativamente abundante, considerando su densidad distribución espacial, sin embargo, su calidad es crítica en algunas regiones hidrográficas, en las últimas décadas han aumentado considerablemente los niveles de contaminación del medioambiente, asociándose este incremento al nivel de desarrollo tecnológico e industrial de nuestra sociedad, generadora creciente de nuevos compuestos difícilmente biodegradables, este deterioro medioambiental es originado por diferentes fuentes de contaminación. Por ejemplo: vertimiento de aguas residuales no tratadas, el manejo inadecuado de los residuos sólidos, los pasivos ambientales (mineros, hidrocarburos, agrícolas y poblacionales) y características naturales.

La contaminación de las aguas superficiales se produce principalmente por acción del hombre, directamente a través de la eliminación de residuos sanitarios no tratados y de compuestos químicos orgánicos o inorgánicos a ríos y lagos o indirectamente, por



ejemplo, por el excesivo crecimiento de algas al añadir nutrientes a los ríos y lagos, por la intrusión de agua de mar a los pozos o por aumento de carga de sedimentos al río, debido a la deforestación (Vázquez, 2009).

2.4.2. Fuentes de contaminación

Las principales fuentes de contaminación se pueden dividir en dos tipos, detallamos a continuación.

2.4.2.1. Fuentes fijas

Son considerados como fuentes fijas las plantas industriales, desechos municipales y sitios de extracción, explotación y construcción como excavaciones explotación agrícola, aprovechamiento forestal, minería, etc; los contaminantes presentes en las fuentes industriales son por lo general nutrientes, metales pesados, compuestos orgánicos específicos, radionúclidos y propiedades físico-químicas específicas como pH, salinidad, demanda de oxígeno, dureza, etc; los componentes de los desechos son microorganismos patógenos, nutrientes y carbono orgánico y se encuentran combinados con aceites, grasas y productos químicos derivados de las industrias, los que entran en las corrientes de desechos domésticos a través de los sistemas de alcantarillado y la escorrentía pluvial, los desechos industriales contienen además cantidades altas de materia orgánica provenientes de las plantas procesadoras de alimentos y bebidas y de la industria del cuero y de la madera, otras actividades aumentan la descarga de sedimentos como los relaves mineros (GESAMP, 2001).

Asimismo, las actividades mineras y la obra civil traen consigo, en muchos casos, la afección a la calidad de las aguas del entorno, fundamentalmente a las aguas superficiales, pero también directa o indirectamente, a las subterráneas, el problema radica en que cuando el hombre actúa provocando, por ejemplo, un drenaje, tratamiento



minero o movimiento de tierra, entran en juego una serie de circunstancias desencadenantes de la contaminación de las aguas que perduran por muchísimo tiempo después incluso del abandono de la actividad (Vázquez, 2009).

2.4.2.2. Fuentes difusas

Las fuentes difusas más evidentes corresponden a la agricultura, por el uso de pesticidas e insecticidas, así como el aporte de residuos de insumos agrícolas y restos de vegetales y animales, muchas veces se produce la contaminación de acuíferos, la actividad forestal intensiva, sobre todo de plantaciones, también es una fuente difusa de contaminantes y produce, al igual que la actividad agrícola, cargas de nutrientes, pesticidas y sedimentos, el principal efecto de estas actividades es el incremento en la movilización de sedimentos, nutrientes y material particulado (Escobar, 2002).

En la actividad agrícola se añaden fertilizantes, entre otros elementos como, fosfato y nitrato, los cuales favorecen la proliferación de algas en aguas superficiales. Abonos, insecticidas, pesticidas y otros suponen riesgo para las aguas superficiales y subterráneas. La agricultura en si misma afecta a la calidad de las subterráneas y ríos por simple concentración de sales y por alteración de los procesos en el suelo pudiendo originar un aumento en las concentraciones de nitratos (Vázquez, 2009).

2.4.3. Factores medioambientales que controlan la composición de las aguas naturales

El estudio de los factores medioambientales vinculados con la composición hídrica, ello concierne sobre todo a hidrogeólogos y entre estos los factores principales que se encuentran son: la influencia del clima, factores geológicos y factores bioquímicos.



La influencia del clima. - En la calidad del agua depende de procesos como la alteración de las rocas a la temperatura, a cantidad y distribución de lluvias, ciertos constituyentes iónicos del agua están más influenciados por los efectos climáticos que otros, como es el caso del bicarbonato, el cual tiende a predominar en las aguas de zonas donde la vegetación es abundante (Vázquez, 2009).

Los factores geológicos. - Se relacionan con la pureza y tamaño de cristal, textura de la roca y porosidad, estructura regional, estructura local, grado de fisuramiento o grietas y entre otros factores. La textura de la roca aumenta con la profundidad, por lo que el agua que circula a ciertas profundidades tendrá una temperatura más elevada que el agua cercana a la superficie de la tierra, este sería el caso de aguas termales cuyo contenido en solutos es, generalmente, mayor que en aguas superficiales más frías (Vázquez, 2009).

Los factores bioquímicos. - Los factores biológicos hacen referencia a la influencia, en mayor o menor grado, de los procesos vitales de plantas y animales en la composición del agua, tales como:

- Procesos que captan energía procedente del sol u otra fuente, que promueven reacciones químicas que requieren energía, (p. ej. fotosíntesis).
- Procesos que redistribuyen químicamente la energía almacenada, (p. ej. metabolismo).
- Procesos sin una transferencia de energía significativa, (p. ej. reacciones que favorecen la reducción y oxidación química) (Vázquez, 2009).

Cabe mencionar que algunos de los procesos formadores del suelo son los mismos que actúan en la composición natural del agua y, por ello, existe una relación considerable entre la química del agua y química del suelo, gran parte de la precipitación atmosférica



que llega a la tierra cae sobre la superficie del suelo, por lo tanto, los dos elementos están muy relacionados (Buckman & Brady, 1960).

Generalmente, la fracción que aparece como esorrentía o agua subterránea ha tenido algún contacto con el suelo y gran parte de ella ha pasado bastante tiempo como humedad del suelo, entre los factores que influyen en la composición química de la humedad del suelo se encuentran la solución o alteración de silicatos u otros minerales, la precipitación de sales muy poco solubles (carbonato cálcico), eliminación selectiva y circulación de nutrientes por las plantas, reacciones bioquímicas productoras de dióxido de carbono, absorción y desorción de iones en superficies orgánicas y minerales, concentración de solutos por evapotranspiración y conversión del gas nitrógeno a formas disponibles para la nutrición vegetal, de estos uno de los más importantes es la producción de dióxido de carbono, el aire en los intersticios del suelo es entre 10-1000 veces más rico en CO₂ que el aire común (Buckman & Brady, 1960).

El agua cuando se traslada a través de suelos disueltos parte de este CO₂, y los iones H⁺, HCO₃⁻ y CO₃⁻² son iones muy fuertes en el control del pH del agua y en el ataque de los minerales de la roca siempre en cuando están en contacto directo.

2.4.4. Distribución de las especies metálicas en solución

El comportamiento de los elementos metálicos en aguas naturales condiciona su biodisponibilidad y, por tanto, su capacidad de incorporación a la biomasa, condicionando su efecto como macro o micronutrientes esenciales y su biotoxicidad, dentro de los macronutrientes esenciales se incluye elementos metálicos como el Ca, Mg, Na y K, importante en funciones metabólicas o enzimáticas en microorganismos, animales y vegetales, la presencia de metales no esenciales como el Hg, Pb, Cd, Ag, Cr, As y Se, sin embargo, suele tener efectos tóxicos, por lo tanto para el consumo humano requiere



tratamiento, en aguas naturales no contaminadas el contenido de estos metales no esenciales es de trazas, concentraciones anormalmente elevadas se asocian al estudio de los efectos tóxicos, sin embargo debe tenerse presente que una disminución de la concentración de los elementos metálicos esenciales por debajo del óptimo necesario puede provocar también problemas (Drever, 1997).

Tradicionalmente, los límites de toxicidad se han establecido en función de los contenidos totales, tanto en aguas como en suelos, estos contenidos totales, sin embargo van a estar controlados por numerosos procesos de formación de complejos en solución, disolución, precipitación o coprecipitación, sorción y desorción (Drever, 1997).

La formación de complejos de los metales disueltos es esencial en la determinación de su biodisponibilidad, biotoxicidad y el efecto sobre los organismos, la biodisponibilidad de iones metálicos libre es, generalmente, mucho mayor que la de sus complejos, de tal manera que no es la concentración como forma iónica libre simple, a este concepto se le denomina, en la literatura biogeoquímica, modelo de actividad de iones libres (Morel & Hering, 1993). Consecuencia directa de este modelo es que la formación de complejos en solución (por ejemplo, quelatos o complejos orgánicos) va a disminuir la biodisponibilidad o biotoxicidad de los elementos metálicos, sin embargo, este modelo de actividad de iones libres presenta excepciones como, por ejemplo, las especies metálicas de Hg son más tóxicas que las especies inorgánicas de Hg, en cualquier caso, se sigue verificando que el efecto tóxico no depende del contenido total de un elemento disuelto, sino de la concentración de una determinada especie de dicho elemento, son ejemplos, las especies de As^{3+} cincuenta veces más tóxicas que las especies de As^{5+} , o el Cr^{3+} mucho menos tóxico que el Cr^{6+} (Vázquez, 2009).



Respecto al pH, el más común en las aguas superficiales es de 7 – 8, liderando en la mayoría de los casos las formas libres de muchos metales pesados en condiciones de pH ácido, mientras que las formas complejas lo hacen en condiciones de pH básico, de ahí la magnitud de la problemática de las aguas acidas en medio natural (Morel & Hering, 1993).

2.4.5. Relación calidad agua – litología

La calidad de un agua queda definida por su composición y el conocimiento de los efectos que puede causar cada uno de los elementos que contine, o el conjunto de todos ellos, permite establecer las posibilidades de su utilización, clasificación así, de acuerdo con límites estudiados, su destino para bebida, usos agrícolas, industriales y otros (Custodio & Llamas, 1983). El estudio de la calidad del agua destinada a ser consumida por el hombre supone tener en cuenta distintas características del agua (físico-químicas, bacteriológicas, biológicas y radiactivas) y que se cumplan los criterios de calidad establecidos para cada una de ellas, en el caso de usos agrícolas, el análisis de una muestra de agua no es suficiente para dictaminar sobre su posible utilización para riego, ya que deben considerarse también otros factores, como son la permeabilidad y calidad del suelo, tipo de cultivo, etc, en aguas para uso industrial, la calidad se ve afectada y calidad del suelo, tipo de cultivo, etc, en aguas para uso industrial, la calidad se ve afectada principalmente por la agresividad y el poder incrustarse del agua (Vázquez, 2009).

El grado en el que la composición de un agua se relaciona con la litología de una zona esto fue estudiado por diversos investigadores, la composición del agua también va a depender por el material por el cual circule esta sustancia. Así, por ejemplo, rocas ultrabásicas son ricas en olivino y piroxeno, por lo que el Mg^{2+} será el catión dominante de esta agua, del mismo modo, el Ca^{2+} es el catión dominante en suelos calcáreos y cuando



el Ca^{2+} y Mg^{2+} están presentes en concentraciones similares, probablemente deriven de la dolomita (Vázquez, 2009).

Es importante tener en el tiempo de residencia, el flujo (o cambios de flujo) y las características de procedencia del agua analizada, con el fin de demostrar como adquiere el agua su composición y describir los procesos que van a modificar esta composición, los procesos implicados en la formación del suelo y la composición del suelo en una zona determinada influyen considerablemente tanto en la composición de las aguas superficiales como subterráneas, la mayoría de las rocas son mezclas complejas de minerales que difieren ampliamente en su estabilidad o solubilidad en el agua, la mayor parte de las rocas, a excepción de las evaporitas, se componen de minerales poco solubles (Vázquez, 2009).

Entre los procesos más importantes que influyen en la composición química del agua son:

- a. **Evaporación y evapotranspiración:** Conducen a un aumento en las concentraciones proporcional a la cantidad de agua que se evapora.
- b. **Toma selectiva de iones por la vegetación y almacenamiento:** Afectan profundamente a las concentraciones de elementos como el P influye fuertemente en el biológico, mientras que otros elementos como el Mg y el S son menos importantes; el fósforo se encuentra en aguas naturales y residuales, casi exclusivamente en forma de fosfatos, en solución, partículas o detritus, o en los cuerpos de organismos acuáticos; los ortofosfatos aplicados como fertilizantes agrícolas son arrastrados a las aguas superficiales con las lluvias y en menor proporción con la nieve derretida, la vegetación puede además adsorber gases de la atmosfera (SO_2 , NH_3 y NO_2^-), la toma y liberación de



elementos por parte de la planta presenta variaciones estacionales y varía entre una planta joven y una madura (Vázquez, 2009).

- c. Descomposición de la materia orgánica:** Consiste en una reacción de oxidación donde se produce ácido carbónico, la descomposición de la materia orgánica puede derivar en otras reacciones como la reducción de óxidos de hierro, sulfato y nitrato o la formación de metano, además, la producción de CO_2 va a influir en las reacciones relacionadas con los minerales carbonatados, la materia orgánica contiene elementos minoritarios como P, K, N, S, etc (Vázquez, 2009).
- d. Alteración y disolución:** Alteración y disolución de carbonatos, silicatos o minerales evaporíticos liberan elementos al agua, el origen de los bicarbonatos es principalmente la disolución de la caliza, en un agua natural existen iones CO_3^{2-} , CO_3H^- y CO_2 disueltos, en parte como tal y en parte como CO_3H_2 , el carbonato cálcico en forma de calcita es poco soluble en agua pura mientras que el bicarbonato cálcico presenta un producto de solubilidad más elevado y, por tanto, precipita más difícilmente que el carbonato cálcico, los carbonatos y evaporitas se disuelven rápidamente modificando considerablemente la composición del agua en el suelo, mientras que los silicatos lo hacen lentamente, la sílice está asociada a la descomposición de los silicatos, las aguas procedentes de esquistos, cuarcitas, etc, suelen tener contenidos en sílice moderados, generalmente inferiores a 30 mg/L (Vázquez, 2009).
- e. Precipitación de minerales:** La alteración de silicatos da lugar, generalmente, a la formación de minerales de arcilla secundarios, los cuales consisten básicamente en silicatos de “Al” con o sin otros cationes (Vázquez, 2009).



- f. Reacciones de intercambio iónico:** Entre los cationes disueltos y el complejo de cambio (arcilla, minerales alterados y materia orgánica) de sedimentos tienen un efecto importante en la composición química del agua, el intercambio iónico tiende a suavizar los gradientes de concentración en mezclas de agua, el potasio, al igual que el sodio, presenta una solubilidad muy elevada y es fácilmente afectado por el cambio de bases, se absorbe de forma muy poco reversible por las arcillas en formación (paso de montmorillonita a illita), para formar parte de su estructura, circunstancia que los diferencia notablemente del sodio, por ello las aguas naturales, a pesar de mayor abundancia de K en muchas rocas, tienen mucho menor K^+ que Na^+ , excepto en las muy diluidas, el origen del sodio y potasio presente en estas aguas se debe posiblemente a una fuente de sodio diferente a la halita o albita y al intercambio iónico (Custodio & Llamas, 1983).
- g. Mezcla de diferentes calidades de agua:** Es importante cuando el agua transporta sustancias contaminantes (Custodio & Llamas, 1983).
- h. Actividades antropogénicas:** principalmente el uso excesivo de nitratos en agricultura y fertilizantes. Iones como el NO_3^- y SO_4^{2-} son de origen principalmente industrial, los gases procedentes del tráfico pueden oxidarse en la atmósfera y dar lugar a HNO_3 y H_2SO_4 , con lo que el pH disminuye y se origina la lluvia ácida (Vázquez, 2009).

Los constituyentes del agua que más se relacionan con la composición mineral de rocas y suelos son la sílice disuelta y los cationes, aunque el balance de cationes y aniones debe mantenerse en todas las soluciones, los aniones pueden derivar en gran parte de fuentes no litológicas, por ejemplo, el bicarbonato en la mayoría de las aguas procede mayoritariamente del dióxido de carbono extraído del aire y liberado al suelo a través de



procesos bioquímicos, por otro lado, algunas rocas son fuentes de cloruro y sulfato por solución directa, la circulación del sulfuro está influida en gran medida por oxidación y reducción biológica, mientras que la circulación del cloruro en la atmosfera es un factor influyente en el contenido de aniones en aguas naturales, próximas a zonas costeras (Vázquez, 2009).

La composición química del agua va a depender, tanto, del tipo de roca asociado: como roca ígnea, sedimentaria y metamérica.

Las rocas ígneas. – Se componen de silicatos, en función de la proporción de sílice, generalmente en forma de cuarzo, se clasifican en: Rocas ácidas (ricas en cuarzo) “ $\text{SiO}_2 > 63\%$ ”, intermedio “ SiO_2 entre 63 - 52%”, rocas básicas o máficas (pobres en cuarzo) “ SiO_2 entre 52 - 45%”, rocas ultrabásicas “ $\text{SiO}_2 < 45\%$ ”. Las aguas superficiales que son originadas en áreas expuestas en rocas ígneas son de compuesto pobres en sólidos disueltos debido a que la descomposición de estas rocas es lenta, las concentraciones están en función del tiempo que está en contacto y zona de superficie sólida expuesta al agua (Vázquez, 2009).

Las rocas sedimentarias. – Relación a su composición química se pueden clasificar en:

- **De origen detrítico (terrágenas o clásticas)**

Incluye areniscas y otras especies compuestas de fragmentos poco alterados de otras rocas. Sedimentos consolidados como las areniscas contienen material cementante depositado sobre la superficie granular y entre los intersticios granulares, el cual es depositado por el agua que ha pasado a través de la roca tiempo atrás y que ha sido resuelto, los materiales cementantes más comunes incluyen carbonato cálcico, sílice, hidróxidos de hierro y carbonato ferroso, con añadidos de otros materiales como los



minerales de arcilla, muchas rocas de este tipo son bastante permeables al agua y pueden recibir y transmitir fácilmente solutos adquiridos por el agua a partir de otro tipo de roca, las concentraciones de elementos minoritarios en aguas de rocas detríticas se relacionan con la deposición y redisolución de materiales cementantes, otros factores serían la adsorción e intercambio iónico, muchas detríticas pueden permanecer en condiciones reductoras durante largos periodos y contener especies minerales reducidas como la pirita, las soluciones que pasan a través de estas rocas en periodos posteriores participarían en reacciones de oxidación-reducción, muchas de ellas mediante microorganismos, el sulfuro de la pirita se oxidaría a sulfato y se liberaría ion ferroso (Vázquez, 2009). Rocas sedimentarias de grano fino se componen de minerales de arcilla y materiales particulado formado a partir de reacciones químicas entre el agua y los silicatos, contienen también cuarzo finalmente dividido y otros minerales en pequeñas partículas (Vázquez, 2009).

- **Origen químico**

Se originan al precipitar diversos compuestos químicos en el interior del medio acuoso en el que se hallan disueltos. Son rocas carbonatadas: calizas (principalmente carbonato cálcico) y dolomías, principalmente $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, no existe formaciones de rocas carbonatadas en las que el magnesio sea más abundante que el calcio, otros minerales carbonatados pueden existir como impurezas, la disolución de la caliza es el principal proceso de disolución del carbonato cálcico, es una reacción bastante rápida y reversible (Vázquez, 2009).

La proporción de magnesio calcio en las aguas refleja en cierta manera la composición de la caliza, la sílice es un constituyente minoritario del agua procedente de caliza., las dolomitas no se disuelven reversiblemente, lo que significa que no se alcanzan las condiciones necesarias para su precipitación directa, al menos en el tipo de



medioambiente en el que existe agua subterránea potable, la elevada solubilidad natural de los sedimentos evaporíticos da lugar a que aguas asociadas a ellos contengan elevada concentración de sólidos disueltos, yeso y anhidrita son los menos solubles, el yeso puede transmitir agua al igual que lo hace la caliza, la composición de salmueras naturales se asocia a la composición de depósitos evaporíticos de los cuales derivan y pueden contener minerales de valor económico como el magnesio, potasio, boro, litio y bromuro (Vázquez, 2009).

- **Origen orgánico**

Incluyen rocas en las cuales han intervenido directamente los seres vivos en su formación y que están formadas por restos de su misma materia orgánica, más o menos transformados, son los carbones minerales y los hidrocarburos naturales (Vázquez, 2009).

Las rocas metamórficas. – Se originan por cambios de temperatura y presión sobre otras rocas ya preexistentes de cualquier tipo, de manera que se produce un cambio en las propiedades físicas y, a veces, en la composición mineral (Vázquez, 2009).

Gneis y esquistos son rocas densas y no toleran agua, las aguas que proceden de estas rocas contienen gran cantidad de sílice, asociada a los minerales solicitados de las mismas, la densa estructura de las pizarras y cuarcitas tienden a restringir el movimiento del agua a zonas de fracturas, evitando así el contacto con aguas subterráneas (Vázquez, 2009).

Entre las propiedades que son posibles indicadores de la presencia de rocas metamórficas en la composición de un agua son las elevadas concentraciones de óxido de silicio, sodio, potasio, aluminio y pequeñas concentraciones de cloruro (White, 1957).



2.5. CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

Se denomina contaminación ambiental a la presencia en el ambiente de cualquier agente como físico, químico o biológico, bien de una combinación de varios agentes en lugares, formas y concentraciones tales que sean o pueden ser nocivos para la salud, la seguridad o bienestar de la población, así también puede ser perjudiciales para el ecosistema, cabe indicar que la contaminación es uno de los procesos ambientales más importantes que afectan a nuestro entorno donde habitamos (mundo) y surge cuando se produce un desequilibrio, como resultado de la adición de cualquier sustancia al medio ambiente, en cantidad tal, que cause efectos adversos en el hombre, en los animales, vegetales o materiales expuestos a dosis que sobrepasen los niveles aceptables en la naturaleza (Ambiental, 1997).

La contaminación es un cambio indeseable en cualquier agente, los cuales se pueden originar principalmente por los residuos de las cosas que hacemos, usamos o desechamos, la contaminación aumenta no solo porque al aumentar la población se hace menor el espacio a disposición de cada persona, sino también, porque las demandas por individuo están aumentando continuamente, lo cual genera que cada habitante arroja residuos a la basura cada vez más, año tras año, cabe recalcar que al estar más poblada la tierra, no hay ya un espacio libre (Jiménez, 2017).

2.5.1. Tipos de contaminación ambiental

2.5.1.1. Contaminación del agua

La contaminación del agua se origina cuando este vital elemento ha perdido las condiciones naturales, por lo tanto, ya no concentra las características de su estado natural.



La contaminación acuática es la incorporación de materias extrañas, como microorganismos, productos químicos, residuos industriales, metales pesados, aguas residuales, petróleo, basura y además que deteriora la calidad del agua y en ocasiones altera sus propiedades físicas y la hacen inútil para usos productivos (Badillo, 1985).

Existen diversos contaminantes del agua, algunos de ellos son las aguas residuales y los residuos provenientes de las industrias.

2.5.1.2. Contaminación del suelo

La contaminación es un proceso o conjunto de procesos que disminuye la capacidad actual y potencial de un suelo para producir bienen.

Contaminación del suelo se refiere a la acumulación en el mismo de compuestos tóxicos (persistentes o no), productos químicos, sales, materiales radiactivos, o agentes causantes de enfermedades, que tienen efectos adversos sobre el hombre, crecimiento de las plantas, salud de los animales, o que influye negativamente en el medio ambiente, asimismo, suelo contaminado aquel cuya característica física, química o biológica han sido alteradas negativamente por la presencia de componentes de carácter peligroso de origen humano, en concentración tal que comporte un riesgo para la salud humana o el medio ambiente, de acuerdo con los estándares que se determinen por el gobierno (Jiménez, 2017).

- Las causas de este tipo de contaminación más frecuentes, se deben a la presencia de compuestos químicos procesados y que se producen por la ruptura de tanques de almacenamiento subterráneo filtración de desechos líquidos industriales o domésticos.
- Tecnología agrícola nociva.
- Eliminación inadecuada sin segregación de la basuras y desechos industriales.



2.5.1.3. Contaminación atmosférica

Este tipo de contaminantes se debe específicamente a la presencia dentro del aire, de sustancias tóxicas como gases nocivos o partículas sólidas que produzcan riesgos y daños graves a personas, animales, vegetales o bienes de cualquier naturaleza o generen olores desagradables (Badillo, 1985).

2.6. EL AGUA

El agua es un elemento de la naturaleza, una sustancia que químicamente se formula como H_2O , integrante de los ecosistemas naturales, fundamental para la producción de la vida, es un elemento indispensable para el sostenimiento del ecosistema ya que contribuye un factor indispensable para el desarrollo de los procesos biológicos que la hacen posible.

El agua natural, al estar en conexión con diferentes agentes como (aire, suelo, vegetación, subsuelo, etc.) incorporan parte de los mismos por disolución o arrastre, o incluso, en el caso de ciertos gases, por intercambio, a esto es preciso unir la existencia de un gran número de seres vivos en el medio acuático que interrelacionan con el mismo, mediante diferentes procesos biológicos en los que se consume y desprenden distintas sustancias (Rodier, 1989).

El agua es un disolvente universal, por lo tanto, es propenso a formar reacciones con otros elementos, entre ellos esta los metales pesados, el agua contaminada es aquella que se presenta cuando usa sustancias o condición altera su composición o estado (Rodier, 1989).

El agua es un elemento que existe en abundancia sobre la tierra, se presenta en tres estados: líquido (ríos arroyos, mares), sólido (hielo) y gaseoso (nubes y niebla).



Desde el punto de vista químico, el agua en estado puro es un compuesto binario de oxígeno e hidrogeno, el agua, ya sea en cualquiera de los estados, es esencial para (consumo humano, animal, generación eléctrica, riego, turismo, recreación, industrial, etc.) por eso es primordial para asegurar la sostenibilidad de los ecosistemas de la tierra (Aguilar & Iza, 2009).

El agua es un recurso natural escaso, indispensable para la vida humana y el sostenimiento del medio ambiente, que, como consecuencia del rápido desarrollo humano y económico y el uso inadecuado que se ha hecho de ella como medio de eliminación, ha sufrido un alarmante deterioro; durante décadas, toneladas de sustancias biológicas activas, sintetizadas para su uso en la agricultura, la industria, la medicina, etc, han sido vertidas al medio ambiente sin reparar en las posibles consecuencias, al problema de la contaminación, que comenzó a hacerse notable ya al principios del siglo XIX (Barceló & López, 2008).

2.7. CALIDAD DEL AGUA

La calidad del agua está definida por su composición y características físicas, químicas y microbiológicas, adquiriendo a través de diferentes procesos naturales y antropogénicos. La calidad natural, variación espacial y temporal se modifican a consecuencias de las múltiples actividades antrópicas, de acuerdo con las características propias de estas dinámicas y puede dar origen a la contaminación de la misma (Jiménez, 2017). Por lo tanto, con estas características, la calidad de un cuerpo de agua puede ser apto para uso concreto y un uso inadecuado. Así mismo, Árcega, (2010) menciona que el termino de calidad del agua se refiere a las características que debe tener una agua para ser utilizada con un fin determinado, ya sea industrial, para el caso del agua para consumo humano, o para ganado, principalmente.



La calidad del agua es una medida de la condición del agua en relación con los requisitos de una o más especies y/o a cualquier necesidad o propósito humano, esta condición se mide generalmente con las características químicas, físicas y biológicas del agua y se evalúa de acuerdo a su propósito, los criterios se basan en niveles específicos de contaminantes que harían dañina el agua si se usa para beber, la natación, la agricultura, producción de pescado o para usos industriales; asimismo, define los estándares de calidad del agua como los estándares ambientales para los cuerpos de agua adoptados por el estado y aprobados por la EPA, los requerimientos de calidad del agua varían de acuerdo con el uso que se le vaya a dar, por ejemplo, para agricultura, pesca, propagación de vida silvestre, usos recreativos o industriales específicos o generación de energía, algunas características del agua adecuadas para un fin pueden no serlo para otro, es importante mencionar que no se deben confundir los requerimientos de la calidad del agua con los estándares de la calidad del agua, los primeros están basados en la experiencia de uso y los segundos son cantidades establecidas por instituciones gubernamentales que regulan al respecto (Arellano, 2002).

2.8. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL AGUA

Los elementos esenciales que caracterizan químicamente el agua son los siguientes:

2.8.1. Iones mayoritarios

Cloruro (Cl⁻): Los cloruros son compuestos de cloro con otro elemento o radical, presentes en casi todas las aguas naturales y en amplio intervalo de concentraciones, de los más abundantes y estables son el cloro de sodio y en menor grado el de calcio y magnesio, los cloruros provienen de la disolución de rocas basálticas y sedimentos así como de efluentes industriales (CNA, 2007). Los rangos de concentraciones más



frecuentes son de 10 a 250 mg/L⁻¹ en aguas dulces, en aguas de mar tienen entre 18000 y 21000 mg/L⁻¹, las salmueras naturales pueden llegar a tener 220000 mg/L⁻¹ (saturación) (Lillo, 2007).

Sulfato (SO₄²⁻): Están presentes en forma natural en diversos minerales. La concentración en aguas naturales varía, el contenido de este elemento hace que el agua sea más dura (CNA, 2007). La disolución de sales sulfatadas (yeso y anhidrita fundamentalmente) representa el aporte más importante, también procede del lavado de terreno formados en ambiente marino, de la oxidación de sulfuros y de la descomposición de sustancias orgánicas, está sujeto a procesos de reducción, especialmente en presencia de bacterias y materia orgánica; en aguas dulces, la concentración normal de sulfatos puede variar entre 2 y 150 mg/L; en aguas salinas puede llegar a 5.000 mg/L y en salmueras puede alcanzar hasta 200.000 mg/L, en agua de mar contiene alrededor de 3000 mg/L, otorga al agua un sabor amargo, puede producir efectos laxantes (asociado a Mg) y perjudica la resistencia de hormigón y cemento (Árcega, 2010).

Bicarbonato (HCO₃⁻) y carbonatos (CO₃²⁻): La disolución de calizas y dolomías facilitada por el aporte de CO₂ y/o ácidos orgánicos o inorgánicos, es otra de las fuentes principales, de carbonatos y bicarbonatos, están sujetos a procesos de disolución – precipitación de sales poco solubles con las que el agua alcanza rápidamente una condición de saturación, en aguas con pH > 8,3 la especie carbonatada dominante es el ion bicarbonato, cuya concentración suele variar entre 50 y 400 mg/L, aunque puede alcanzar valores de hasta 800 mg/L, son responsables de la alcalinidad del agua y limitantes del uso para riego (Lillo, 2007).

Sodio (Na⁺): Es liberado por la meteorización de silicatos y la discusión de rocas sedimentarias de origen marino y depósitos evaporíticos (NaCl), la presencia de sodio en



aguas naturales es muy variable pudiendo alcanzar hasta 100.000 mg/L en zonas evaporíticas, sin embargo, raramente sobrepasa 150 mg/L, en aguas dulces, determina el peligro de modificación del agua (Eleuterio & Fernando, 2018). Es el catión principal de la biosfera y constituye el 2.83% de la corteza terrestre, se encuentra solo en estado combinado, en sales extremadamente solubles por lo que está en altas concentraciones en toda agua, en océanos y lagos salinos se encuentra como cloruro de sodio (NaCl), y en menor grado, carbonato de sodio (Na₂CO₃) y sulfato de sodio (Na₂SO₄) (CNA, 2007).

Calcio (Ca²⁺): Participa en la composición de varios minerales petrogenéticos, por lo que está presente en rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias, en estas últimas aparece como carbonatos (calcita, aragonito y dolomita) o sulfatos (yeso y anhidrita) (Eleuterio & Fernando, 2018). Los controles de su concentración son equilibrio carbonatico y el intercambio iónico, la concentración varía entre 10 y 250 mg/L, en aguas dulces mientras en aguas de terrenos yesíferos pueden llegar a 600 mg/L y en salmueras hasta 50.000 mg/L, junto con el magnesio es responsable de la dureza del agua y produce incrustaciones (Árcega, 2010).

Magnesio (Mg²⁺): Procede de la disolución de rocas carbonatadas (dolomías), evaporitas marinas y de la alteración de silicatos ferromagnesianos, el procesos de intercambio iónico influye en su concentración, siendo retenido con preferencia al calcio en aguas naturales no suele sobrepasar los 40 mg/L en terrenos calcáreos pueden superar los 100 mg/L y en terrenos evaporíticos pueden alcanzar valores de 1000 mg/L, junto con el calcio es responsable de la dureza del agua y tiene efectos laxantes similares al sulfato (Lillo, 2007).

Potasio (K⁺): Proviene de la meteorización de los feldespatos potásicos y de la solubilización de depósitos de evaporitas, tiende a ser fijado casi irreversiblemente en



procesos de formación de arcillas y de adsorción en la superficie de minerales con alta capacidad de intercambio iónico (Árcega, 2010). También menciona que en aguas subterráneas no suele sobrepasar los 20 mg/L a excepción de algunas salmueras, es un nutriente vital para las plantas.

Nitratos (NO_3^-) y nitritos (NO_2^-): 78% del nitrógeno aparece en forma gaseosa en las atmósferas (N_2), en forma oxidada constituye una fracción en suelos y sustancias orgánicas, en las rocas es un elemento minoritario, por lo que se puede encontrar como gas disuelto, combinaciones inorgánicas y combinaciones orgánicas, el nitrógeno puede aparecer en forma de NH_3 , NH_4^+ que por oxidación puede transformarse en NO_2^- en concentraciones traza y finalmente en NO_3^- la cual es la forma más estable en las que se encuentra en las aguas subterráneas sus concentraciones varía entre 0.1 y 10 mg/L pero en aguas continentales puede alcanzar valores cercanos o superiores a 200 mg/L, valores mayores pueden indicar contaminación por actividades urbanas, industriales y ganaderas y por prácticas de fertilización intensiva (CNA, 2007).

Sílice (H_4SiO_4 , SiO_2): Procede mayoritariamente de la meteorización por hidrólisis de feldspatos y silicatos en general; el cuarzo o la sílice amorfa, de baja solubilidad, no son fuentes significativas de la sílice en el agua, en la mayoría de las aguas naturales, aparece como H_4SiO_4 que no comienza a que disociarse hasta valores de pH superiores a 9 (Eleuterio & Fernando, 2018).

Fluoruro (F^-): Su fuente probable es la hidrólisis de vidrio volcánico y de ciertos minerales de las rocas ígneas plutónicas o con la disolución de fluorita y apatito, su solubilidad está controlada por el calcio, por lo que es más abundante en aguas blandas, su concentración es frecuentemente menor a 1 mg/L, aunque suele alcanzar valores mayores en determinados ambientes hidrogeológicos (CNA, 2007).

2.8.2. Representación de datos en diagramas hidroquímicos

Los datos Hidroquímicos pueden analizarse mediante diferentes tipos de representaciones, ya sean de uso general, como los gráficos de barras, tortas, o específico como los diagramas y mapas hidroquímicos (Eleuterio & Fernando, 2018).

2.8.2.1. Diagrama de Piper-Hill-Langelier

Se compone de dos campos triangulares a la izquierda catiónico y derecha aniónica de un rombo central que integra ambas composiciones, cada lado de los triángulos lleva una escala en porcentaje de meq/l (r%) de un ion determinado y los valores se ingresan paralelamente al lado opuesto al vértice que representa 100% , las proporciones relativas de cationes y aniones generalmente los mayoritarios fijan de una muestra en el campo triangular correspondiente y la intersección de la proyección de ambos puntos trazada paralelamente al lado exterior de los triángulos, determina su ubicación en el rombo central (Lillo, 2007).

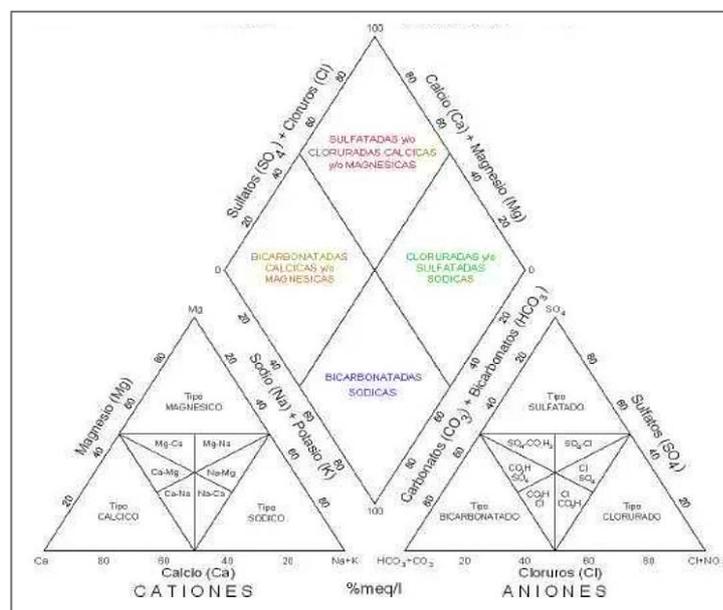


Figura 1. Diagrama de Piper - Hill - Langelier (campo de tipos de agua) (Eleuterio & Fernando, 2018).

2.8.2.2. Diagrama de Stiff

Es un polígono representativo de una muestra individual que se constituye distribuyendo verticalmente, de manera equidistante, tres rectas (cuando se incluyen solo los iones principales), que son cortadas por un eje central para definir semirrectas hacia la izquierda lado catiónico y derecha lado aniónico, concentraciones del ion correspondiente de acuerdo con una escala previamente establecida con lo cual el tamaño del polígono refleja total de sólidos disueltos de la muestra y los vértices más prominentes, al izquierda y derecha, corresponden al catión y ion dominante (Lillo, 2007).

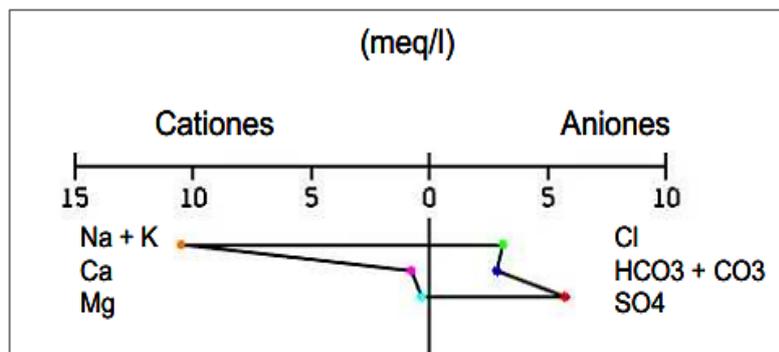


Figura 2. Diagrama de Stiff modificado (Eleuterio & Fernando, 2018)

2.8.2.3. Diagrama lineal de Schoeller-Berkaloff

También llamado spider, permite representar varias muestras en un mismo diagrama, para que puedan ser comparadas, la visualización de la concentración (en ppm, mg/L⁻¹ o meq/l⁻¹) de los diferentes iones no es directa al utilizar una escala semilogarítmica, los iones se representan en el eje X, cationes a la izquierda y aniones a la derecha, lo cual es apropiado para estudiar evoluciones temporales de aguas en un mismo punto y variaciones composicionales en muestras de diferentes localidades (Lillo, 2007).

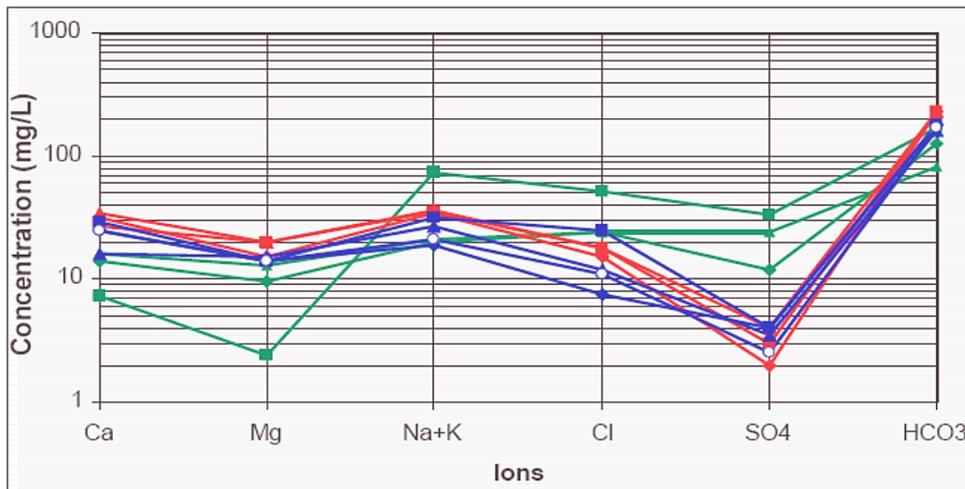


Figura 3. Diagrama de Schoeller-Berkaloff (Lillo, 2007).

2.8.2.4. Diagrama Durov

La figura trilineal de Durov se basa en el porcentaje de miliequivalentes de iones principales, los valores de cationes y aniones se trazan en dos gráficos triangulares separados y los puntos de datos se proyectan en una cuadrícula cuadrada en la base de cada triángulo, así mismo el grafico Durov permite la comparación directa de otros dos parámetros de agua típicamente pH y el total de solidos disueltos (Reyes, 2019). También este diagrama como Wilcox nos indica la calidad de agua para riego.

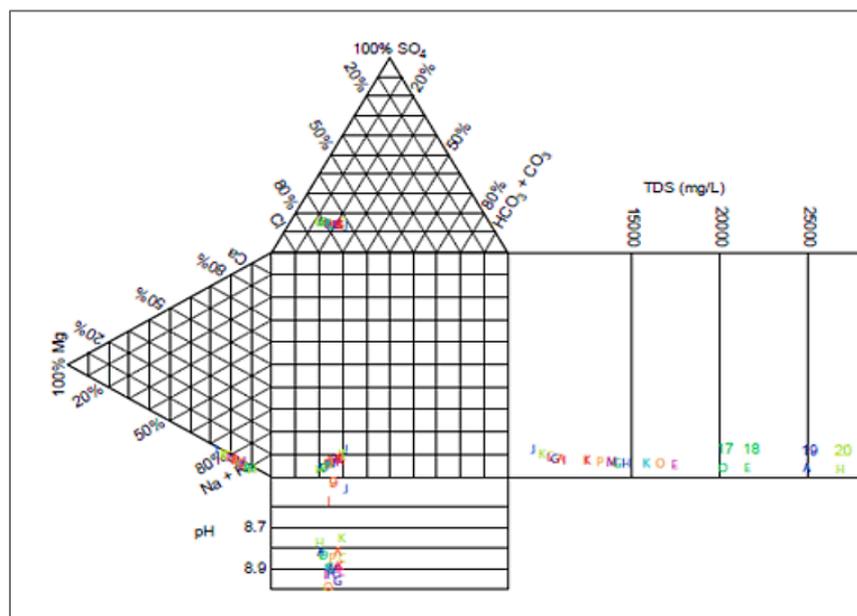


Figura 4. Diagrama Durov (Reyes, 2019).



2.9. RELACIONES IÓNICAS

Las relaciones más simples son las que vinculan diversos iones con otros que por su carácter conservativo, se comporta como un trazador de circulación (p. ej. cloruro) y permiten visualizar la variación en el sentido de flujos del ion considerado en el numerador, de igual manera es interesante trabajar con iones que puedan tener un origen común y en consecuencia pueda esperarse una relación constante (p. ej. en el caso de la relación Na/Cl), así un valor mayor o menor al esperado indicará la ocurrencia de un proceso de aporte o remoción, respectivamente, del ion que aparece en el numerador (Eleuterio & Fernando, 2018).

El uso de las relaciones iónicas en estudios hidroquímicos tiene como objetivo ayudar a identificar los siguientes aspectos, origen continental o marino del agua subterránea, posibles procesos de disolución-precipitación, oxidación-reducción, intercambio iónico, que hayan podido modificar la composición química del agua que se estudia, el trazado lineal de flujos, el sentido de la intrusión marina en acuíferos costeros, procesos de contaminación agrícola, industrial etc. (Eleuterio & Fernando, 2018).

- **Relación $r \text{ Mg} / r \text{ Ca}$**

En las aguas continentales varía normalmente entre 0.3 y 1.5 los valores próximos a 1 indican la posible influencia de terrenos dolomíticos o con rocas serpentinitas. Valores superiores a 1 suelen estar generalmente relacionados con terrenos ricos en silicatos magnésicos como gabros y basaltos, sin embargo, hay que tener especial cuidado con esta relación ya que cuando se produce precipitación de CO_3Ca en el agua, la relación aumenta sin que ello señale nada acerca de las rocas atravesadas, el agua del mar suele tener una relación de aproximadamente 5, razón por la cual las aguas que han circulado por rocas marinas o que han sufrido mezclas con aguas del mar, tienen valores elevados, al mismo



tiempo, un incremento en los valores de cloruros y de la relación $r\text{ Ca}/r\text{ Mg}$ puede ser indicativo de contaminación (Lillo, 2007).

- **Relación $r\text{ K}/r\text{ Na}$**

En aguas dulces puede variar entre 0.001 y 1, siendo lo más frecuente que se encuentren entre 0.004 y 0.3, mientras que para aguas marinas esta entre 0.02 a 0.025 debido a la fijación de K^+ en el terreno, esta relación es menor en el agua que en la roca origen, tanto menor cuando más concentradas en sales está el agua, cuando el contenido en alcalinos ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$) es menor a 3 ppm, la relación $r\text{ K}/r\text{ Na}$ varía entre 0.5 y 1, para 50 ppm es de alrededor de 0.1 y para 100 ppm vale cerca de 0.01 (Reyes, 2019).

- **Relación $r\text{ Na}/r\text{ Ca}$ y $r\text{ Na}/r(\text{Ca} + \text{Mg})$**

En general solo tienen interés para comparar estas relaciones en el agua con la roca del acuífero, o bien para seguir los posibles procesos de cambio de base, en este último caso es preciso tener en cuenta que la precipitación o disolución de sales de Ca altera las relaciones sin que por ello se produzca cambio alguno de las bases (Eleuterio & Fernando, 2018).

- **Relación de $r\text{ Cl}/r\text{ CO}_3\text{H}$**

Teniendo en cuenta que el contenido de CO_3H es un valor relativamente constante en las aguas subterráneas, esta es una relación de interés para seguir el proceso de concentración de sales en el sentido del flujo subterráneo, aunque esa concentración hace crecer ligeramente el denominador, un aumento de la relación indica un avance en el proceso de concentración, si existe procesos de reducción de sulfatos o aportes externos de CO_2 puede aumentar el contenido de CO_3H y en ese caso no conviene utilizar esta relación, la precipitación de CO_3Ca también puede influir, esta relación es especialmente



útil en la caracterización de intrusión marina ya que en aguas continentales tienen valor entre 0.1 y 5 y en el agua de mar varía entre 200 y 500, si el incremento de cloruros se debe a exceso de regadío, la relación crece mucho menos para igual incremento de cloruros que cuando se produce intrusión marina (Lillo, 2007).

- **Relación $r \text{SO}_4^{2-} / r \text{Cl}$**

En aguas salinas el contenido de SO_4 tiende a ser constante y entonces tiene un interés similar al anterior, no es útil cuando produce reducción de sulfato; en aguas poco o moderadamente salinas la relación puede ser similar a la de la roca acuífera y su valor se mantiene aproximadamente constante al irse concentrando el agua, cuando satura el sulfato, la relación deja de ser útil en este sentido, aunque ellos solo sucede cuando la salinidad es ya muy elevada (Eleuterio & Fernando, 2018).

- **Relación o índice de cambio de base (icb) $r \text{Cl}^- - r (\text{Na} + \text{K}) / r \text{Cl}^-$**

Esta relación suele ser la mayoría de las veces negativa en aguas relacionadas con terrenos formados por rocas plutónicas o volcánicas, en especial en granitos, el agua del mar toma valores de + 1,2 a + 1,3 y en salmueras que tengan $r \text{Cl}^- > 500$ es siempre positivo, para aguas pocas salinas pueden ser positivas o negativas, un aumento de icb indica un cambio de bases de endurecimiento del agua y una disminución un cambio de bases de ablandamiento, al ir incrementando la salinidad de un agua el valor de icb tiende a crecer lentamente (Eleuterio & Fernando, 2018).

- **Relación $r \text{Br} / r \text{Cl}$ y $r \text{I} / r \text{Cl}$**

La relación de Br / Cl se emplea con poca frecuencia, pero es de interés en el estudio del origen de aguas salobres y saladas puesto que en el agua del mar vale alrededor de $1,7 \times 10^{-3}$, pudiendo tener valores muy diferentes en las aguas continentales, las aguas



asociadas a rocas orgánicas marinas y de disolución de depósitos suelen tener una relación notablemente elevada, la segunda relación es bastante característica del origen de las aguas salobres y salmueras, en el agua del mar la relación varía entre 2×10^{-6} y 6×10^{-6} , mientras que en las aguas subterráneas es mayor; las rocas fosilíferas contienen aguas con las relaciones más elevadas mientras que las relaciones con rocas evaporíticas dan los valores menores (Eleuterio & Fernando, 2018).

- **Relación $r \text{ Ca} / r \text{ Cl}$; $\text{Mg} / r \text{ Cl}$; $r (\text{Ca} + \text{Mg}) / r \text{ Cl}$; $r (\text{Na} + \text{K}) / r \text{ Cl}$ y $r \text{ Sr} / r \text{ Ca}$**

Todas ellas tienen interés para caracterizar el cambio de bases ya que en el mismo no se altera el contenido de cloruros, su uso es poco frecuente, las relaciones $r \text{ Sr} / r \text{ Ca}$ vale 0,014 para el agua marina y 10^{-3} para las calizas (Eleuterio & Fernando, 2018).

Relación	Agua Continental	Agua Marina	Información
r Mg/ r Ca	0,3 a 1,5	5	= 1 → Terrenos dolomíticos > 1 → Rocas Basálticas y Gabros > 1 ↑ Intrusión marina Si ↑ + ↑ Cl → Intrusión marina ↓ al precipitar CaCO ₃ ↓ al disolver CaCO ₃ Si ↑ + ↓ SO ₄ → Reducción de sulfatos
r Cl/ r CO ₃ H	0,1 a 5	20 a 50	↓ al disolver CaCO ₃ (aporte de sales) ↑ al precipitar CaCO ₃ ↑ → Mineralización ↑ → Intrusión marina ↑ → Mayor dureza
r SO ₄ / r Clr	0,2 a 0,4	0,11	Similar anterior en aguas salobres ↓ → Reducción de sulfatos ↑ → Contaminación agrícola – Industrial ↓ → Intrusión marina
r K/ r Na	0,001 a 1	0,02 a 0,025	Origen continental o marino de K Limitada si existe adsorción de Na o K
r Na/ r Ca r Na/ r (Ca + Mg) r Na/ r Mg	Variable	Variable	Permite deducir procesos de intercambio Permite comparar con el valor de cada relación en el terreno Permite observar evolución espacial y temporal
icb	Variable	Variable	↑ → Intercambio iónico (endurecimiento) ↓ → Intercambio iónico (ablandamiento)
r Br/ r Cl l/ r Cl	Variable < que el agua de mar	1,7.10 ⁻³	Indica origen marino, continental, residual, etc.
r Ca/ r Cl r Mg/ r Cl r Na/ r Cl			Indican intercambios iónicos, precipitaciones, disoluciones, origen del agua, etc.
r NO ₃ / r Cl			Indica posible contaminación agrícola y procesos de reducción

Figura 5. Significado de las relaciones iónicas e información que puedan proporcionar.

Adaptado de “Aplicaciones Ambientales de la Hidrogeoquímica”, por Eleuterio & Fernando, (2018).



2.10. IMPORTANCIA DEL ANÁLISIS DE LOS METALES PESADOS EN AGUAS

En los últimos años la contaminación de las aguas naturales por metales es un fuerte problema debido al incremento de industrialización y urbanización. Entre los metales de mayor importancia toxicología y ecotoxicología ambientes acuáticos figuran el mercurio (Hg), arsénico (As), cromo (Cr), plomo (Pb), cadmio (Cd), níquel (Ni) y zinc (Zn), pues para la mayoría de los organismos la exposición por encima de una concentración umbral puede ser extremadamente tóxica (Castañé et al., 2003).

2.11. METALES PESADOS

Según la tabla periódica, es un elemento químico con alta densidad (mayor a 4 g/cm³), masa y peso atómico por encima de 20, y son tóxicos en concentraciones bajas, algunos de estos elementos son: aluminio (Al), bario (Ba), berilio (Be), cobalto (Co), cobre (Cu), estaño (Sn), hierro (Fe), manganeso (Mn), cadmio (Cd), mercurio (Hg), plomo (Pb), arsénico (As), cromo (Cr), molibdeno (Mo), níquel (Ni), plata (Ag), selenio (Se), titanio (Ti), vanadio (Va), oro (Au) y zinc (Zn), en general se consideran, que los metales pesados son perjudiciales, pero muchos resultan esenciales en nuestra dieta y en algunos casos, su deficiencia o exceso puede conducir a problemas de salud, por ejemplo, el organismo requiere de hierro, cobalto, cobre, hierro, manganeso, molibdeno, vanadio, estroncio y zinc; otros en cambio no cumplen una función fisiológica conocida, alteran la salud y es mejor evitarlos siempre (Franco et al., 2016). Dependiendo de la concentración en que se encuentren representan cierta toxicidad para el ser humano,

Estos elementos aparecen de forma natural en bajas concentraciones en suelos y aguas, muchos de ellos son micronutrientes esenciales para plantas, animales y humanos, pero en concentraciones altas pueden causar fitotoxicidad y dañar la salud humana a causa



de su naturaleza no biodegradable, que causa que se acumulen fácilmente en los tejidos y organismos vivos (Rodríguez - Eugenio et al., 2019).

Los metales presentes en el agua son diversos y generalmente contaminan los cuerpos de agua por la actividad humana, causando graves estragos al medio ambiente y a la población en general, disminuyendo la ya reducida cantidad de agua para consumo humano ya existente (Capacoila, 2017).

Las aguas procedentes de las industrias como la minería la de recubrimientos metálicos, las fundidoras y otras más, contaminan el agua con los diversos metales, por ejemplo, las sales de metales como zinc, el mercurio, la plata y el cadmio son muy tóxicas para la flora y fauna terrestres y acuáticas (Apaza, 2015).

2.11.1. Peligrosidad de los metales pesados

¿Por qué los metales pesados son tan peligrosos?

Los metales pesados son unos de los contaminantes ambientales más peligrosos, debido a que no son biodegradables y a su potencial de bioacumulación en los organismos vivos (Orozco et al., 2005).

Los metales pesados catalizan reacciones de oxidación, estimulando por tanto la producción de radicales libres, impiden la absorción de minerales (por ejemplo, zinc y magnesio), y elementos traza, necesarios para las reacciones enzimáticas, causando así innumerables bloques metabólicos, también pueden cambiar la estructura de las proteínas y por supuesto, de los anticuerpos de muchos sistemas inmunológicos, las estructuras lipídicas que están presentes en todas las células pueden modificarse, por lo que la entrada y salida de nutrientes puede verse afectada, en general, exposición a metales pesados a lo largo del tiempo está relacionada con varios tipos de cáncer, problemas en el desarrollo



de fetos y niños, artritis, enfermedades cardiovasculares, dolencias renales, etc (Axon up, s.f.).

2.11.2. Aluminio (Al)

El aluminio es el elemento más abundante en la tierra y en la luna, pero nunca se encuentra en forma libre en la naturaleza, se halla ampliamente distribuido en las plantas y en casi todas las rocas, sobre todo en las ígneas, que contienen aluminio en forma de minerales de aluminio silicato, cuando estos minerales se disuelven, según las condiciones químicas, es posible precipitar el aluminio en forma de minerales, hidróxidos de aluminio o ambos, en esas condiciones se forman las bauxitas que sirven de materia prima fundamental en la producción se forman las bauxitas que sirven de materia prima fundamental en la producción de aluminio (Peris, 2006).

Es uno de los elementos que más abunda en la corteza terrestre, pero su presencia en las aguas naturales es ínfima, dado que el aluminio existe en muchas rocas, minerales y arcillas, está presente en todas las aguas superficiales, pero su concentración en las aguas con un pH cercano al natural raramente supera unas pocas decimas a 1 mg/L (ANA, 2018).

- **Riesgos**

El aluminio bloquea la absorción de magnesio (Axon up, s.f.). Los efectos del aluminio han atraído nuestra atención, mayormente debido a los problemas de acidificación, el aluminio puede acumularse en las plantas y causar problemas de salud a animales que consumen esas plantas, las concentraciones de Aluminio parecen ser muy altas en lagos acidificados, en estos lagos un número de peces y anfibios están disminuyendo debido a las reacciones de los iones de Aluminio con las proteínas de las agallas de los peces y los embriones de las ranas, las consecuencias para los pájaros que



consumen peces contaminados es que la cascara de los huevos es más fina y los pollitos nacen con bajo peso (Peris, 2006).

2.11.3. Arsénico (As)

Considerado la sustancia más nociva para el organismo humano y los animales, el máximo nivel tolerable en el ganado es de 50 mg/kg de tipo inorgánico y de 100 mg/kg del tipo orgánico, el As (III) es más tóxico que el As (V) la intoxicación humana se produce por inhalación o ingestión del trióxido de arsénico (As_2O_3) lo cual indica Polo & Sulca, (2018) también define que el arsénico se encuentra en el ambiente principalmente como As^{3+} (arsenito) y As^{5+} (arseniato, abundante), donde el arsenito presenta mayor toxicidad para el humano y el más complejo de remover de los cuerpos hídricos.

La toxicidad del arsénico es función del compuesto en que se encuentre: los arsenitos (As III) son más tóxicos que los arsenatos (As V) (CNA, 2007).

De acuerdo a los estudios realizados por la ANA se ha encontrado en algunos puntos de muestreo de las cuencas hidrográficas evaluadas la presencia del arsénico debido a su aportación litológica de la zona, la actividad minera aporta de manera puntual la presencia de este elemento en las aguas. (ANA, 2018).

- **Riesgos**

El arsénico es un contaminante muy peligroso, está asociada a enfermedades vasculares, bronquitis, cáncer de esófago, de pulmón, laringe y vejiga, produce hepatotoxicidad, presente en alimentos no ecológicos, ya que muchos pesticidas lo contienen, también el arsénico bloquea la absorción de vitamina E, el selenio y el sulfuro (Axon up, s.f.).

2.11.4. Cadmio (Cd)

Presente en los suelos y rocas en forma natural, se incorpora al ambiente a través de los fertilizantes, plásticos, baterías, pilas, compuestos asociados al zinc, pinturas, aplicación de desechos al suelo y otros, es tóxico para el hombre y para los animales (Polo & Sulca, 2018).

El cadmio forma parte de la composición natural de algunas rocas y suelos y provoca una liberación al medio ambiente cercana a 25000 toneladas. De otra parte, por vía antrópica las concentraciones en el ambiente pueden ser incrementadas considerablemente (Reyes, 2019).

El cadmio se encuentra en la naturaleza en forma de sulfuro y como impureza de minerales de zinc y plomo. Su presencia en el agua se da debido a las actividades mineras y de fundición (ANA, 2018). Así mismo Orozco et al., (2005) indica que las principales fuentes de origen de la presencia de cadmio en el medio ambiente son la fabricación de hierro y acero, la industria del carbón y la del aceite.

- **Riesgos**

Es un elemento que está asociado a enfisema, tensión alta, cáncer de próstata, bronquitis, infertilidad, enfermedades vasculares, alteraciones neurológicas y toxicidad en riñones, Asimismo, el cadmio bloquea el zinc, magnesio, selenio y sulfuro (Axon up, s.f.).

El cadmio puede ser absorbido por las plantas y acumulado en cantidades que pueden entrañar serios riesgos para la salud humana; Su similitud con el Zinc, le permite reemplazarlo, ser absorbido por la planta en su lugar y desempeñar sus funciones, por su alta toxicidad ocasiona serios trastornos en la actividad enzimático de la planta, se le



atribuye un marcado efecto en la reducción del crecimiento, la extensibilidad de la pared celular, el contenido de clorofila, todos los efectos negativos varían de una especie a otra, con relación al efecto del As se presume que la alta afinidad de este elemento con los grupos tilo (-SH) determina serios trastornos en los procesos enzimáticos y en algunos de los procesos metabólicos de las plantas (Capacoila, 2017).

2.11.5. Cromo (Cr)

La presencia de cromo en los cuerpos naturales de agua por lo general es muy pequeña. La actividad minera y los procesos industriales pueden producir elevadas concentraciones de este elemento. Es un metal tóxico, para la salud humana (ANA, 2018).

El cromo es un elemento natural ubicuo, que se encuentra en las rocas, plantas, suelos, animales, en los humus y gases volcánicos, puede funcionar con distintas valencias y en el ambiente se encuentra en varias formas, las más comunes son las derivadas del cromo trivalente o cromo III y las cromo hexavalente o cromo VI, el cromo hexavalente se encuentra muy frecuentemente en naturaleza como $\text{Cr}_2\text{O}_4\text{Fe}$, constituyendo la peridotita y serpentina, de las que se deriva, es un agente cancerígeno de las vías respiratorias (Peris, 2006).

- **Riesgos**

El cromo está asociado a cáncer de pulmón, hepatotoxicidad y nefrotoxicidad, desestabiliza los niveles de azúcar en sangre y puede producir infecciones por hongos, como la cándida, dermatitis aguda y dermatitis eczematosa alergia (Axon up, s.f.).

Los cultivos contienen sistemas para gestionar la toma de cromo para que esta sea la suficientemente baja como para no causar cáncer, pero cuando la cantidad de Cromo en el suelo aumenta, esto puede aumentar las concentraciones en los cultivos, la



acidificación del suelo puede también influir en la captación de Cromo por los cultivos, las plantas usualmente absorben solo cromo (III), Esta clase de Cromo probablemente es esencial, pero cuando las concentraciones exceden cierto valor, efectos negativos pueden ocurrir (Peris, 2006).

2.11.6. Hierro (Fe)

Es un elemento que abunda en la corteza terrestre, por lo general, se da en pequeñas concentraciones en los sistemas de aguas naturales, la forma y solubilidad del hierro en las aguas naturales depende en gran medida del pH, potencial redox del agua y el hierro se presenta en estado de oxidación +2 y +3, su selección es para definir que su presencia en las aguas naturales se debe al aporte de su propia naturaleza del lugar (ANA, 2018).

- **Riesgos**

Bajos niveles de hierro pueden ser problemáticos en el agua, niveles por sobre 0,1 mg/L han sido reportados como causa de carne toja en terneras, niveles de hierro excediendo los 0,3 mg/L pueden manchar las ropas, como también puede propiciar el crecimiento de la bacteria del hierro, lo que resulta en olores fétidos y taponamiento de los sistemas de agua, niveles sobre 0.3 mg/L pueden también causar una reacción en la ingesta de agua y en la producción de las vacas lecheras, tan poco como 0,1 mg/L puede causar un sabor a óxido en la leche (Peris, 2006).

2.11.7. Manganeso (Mn)

El manganeso es un metal relativamente común en las rocas y suelos, donde se presenta como óxidos e hidróxidos, su evaluación es de gran importancia para controlar las concentraciones de diversos metales trazas existentes en los cuerpos de agua natural,



su elección de este parámetro es para comprobar que su presencia es netamente natural (ANA, 2018).

El Mn se presenta bastante en la corteza terrestre. Entre sus combinaciones naturales destacan óxidos, silicatos y carbonatos: pirolusita o manganesa, rodocrosita son las más importantes, otras menos importantes son hausmannita, psilomelana (manganomelana), manganita, rodonita, braunita ($3\text{Mn}_2\text{O}_3 \cdot \text{MnSiO}_3$), hübnerita (MnWO_4), se han descubierto grandes cantidades de nódulos de manganeso en el fondo oceánico que en el futuro serán importantes para la obtención del metal. Estos nódulos contienen más de un 24% de manganeso junto con cantidades menores de otros elementos, en forma de óxidos hidratados (Peris, 2006).

- **Riesgos**

En cantidades excesivas reducen el crecimiento y provocan acumulaciones indeseables en los tejidos, como resultado de las investigaciones realizadas por la FAO, reconoce que la mayoría de los oligoelementos se fijan y se acumulan, irreversiblemente en el suelo, el exceso de lo requerido por la planta eventualmente llega a contaminar a los suelos, los cuales pueden convertirse en suelos improductivos o producir cosechar inaceptables (Peris, 2006).

- El alto contenido de manganeso, la cual puede provocar diarrea en el ganado.
- Se acumulan en el hígado y en el sistema nervioso central, produciendo síntomas parecidos al párkinson.
- El exceso de manganeso disminuye, además, las velocidades de absorción del hierro, calcio y fosforo en el intestino y dificulta la síntesis de hemoglobina y el depósito de calcio y fosforo en los huesos.



El Mn daña el páncreas, el hígado, aparato respiratorio, riñones, sistema nervioso central y está asociado al párkinson (Axon up, s.f.).

2.11.8. Mercurio (Hg)

Elemento tóxico para el humano, animales y plantas en forma de metil, el metilmercurio es neurotóxico, los peces y semillas contaminadas con mercurio han producido serios envenenamientos en humanos, llega al suelo por deposición de partículas atmosféricas o por la utilización en la agricultura n fungicidas, insecticidas y otros (Polo & Sulca, 2018).

Su presencia en las aguas se debe principalmente a las actividades antrópicas (minería, etc.), salvo en algunos lugares que por su propia naturaleza se encuentran dispositivos de este mineral, generalmente es un elemento que no abunda en la naturaleza (corteza terrestre) (ANA, 2018). Las fuentes de intoxicación más habituales de este metal están en ciertos alimentos, como el marisco o el atún, los cuales toman y acumulan el mercurio de entorno marinos contaminados por dicho metal; otras fuentes posibles se intoxicación son ciertos plásticos, los colores de impresión, insecticidas, etc. (Orozco et al., 2005).

- **Riesgos**

El mercurio pertenece a los más tóxicos que existen. Asociado a alteraciones neurológicas, autismo, TDA, TDAH, TEA, depresión, problemas del aparato respiratorio, asimismo, este elemento bloquea el zinc, selenio y hierro. También destruye la vitamina B12 (Axon up, s.f.).

Los niños son más susceptibles al mercurio que los adultos, en ellos puede producir dalos en el sistema nervioso y digestivo y lesiones en el riñón, en mujeres



embarazadas puede pasar de la madre al feto, donde puede acumularse y producir daños cerebrales, retardo mental, ceguera, incapacidad para hablar, etc (CNA, 2007).

2.11.9. Plomo (Pb)

No es un elemento esencial para los humanos, plantas y animales, es tóxico para humanos, particularmente los niños, se encuentra en el aire, agua, polvo y suelo, es tóxico para los animales para dosis de 30 mg/kg en la dieta, La principal fuente de contaminación es la gasolina, está presente en baterías y pesticidas (Polo & Sulca, 2018).

- **Riesgo**

Es considerada como la segunda mayor toxina para el cuerpo, puede desencadenar alteraciones neurológicas, anemia o cáncer de riñón, afecta el sistema nervioso y causa problemas en el crecimiento (Polo & Sulca, 2018).

2.11.10. Zinc (Zn)

Es un elemento que abunda en las rocas y minerales, pero tiene baja concentración en las aguas naturales debido a la falta de solubilidad del metal. Está presente en cantidades trazas en casi todas las aguas alcalinas superficiales, pero se eleva su concentración en aguas acidas, en concentraciones moderadas es considerado como un parámetro esencial para la nutrición de los humanos, siendo también tóxico para los organismos acuáticos debido a su variación en concentración y a los factores según sean las características de la calidad del agua y de las especies bajo estudio (ANA, 2018).

- **Riesgos**

Si el elemento se presenta en cantidades mayores, este puede ocasionar dolores de estómago e infección de las mucosas, dolores de cabeza (Axon up, s.f.).

2.12. PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS

Los parámetros fisicoquímicos dan una información extensa de la naturaleza de las especies químicas de aguas y sus propiedades físicas, sin aportar información de su influencia en la vida acuática; los métodos biológicos aportan esta información pero no señalan nada acerca del contaminante o los contaminantes responsables, por lo que muchos investigadores recomiendan la utilización de ambos en la evaluación del recurso hídrico (Orozco et al., 2005). Los parámetros químicos son más relacionados con los agroquímicos, metales pesados, este tipo de contaminación es más usual en las aguas subterráneas en comparación con las aguas superficiales (Casilla, 2014).

La ventaja de parámetros físico-químicos se basa en que sus análisis suelen ser más rápidos y pueden ser monitoreados con mayor frecuencia, en comparación con los métodos biológicos, basados en la observación y medición de ciertas comunidades de seres vivos en las aguas, además, de selección de las especies debe ser cuidadosa ya que de esta depende la evaluación de calidad del recurso, que generalmente solo se realiza para un uso determinado, a diferencia de las físico-químicas, que permiten una evaluación para diferentes tipos de uso (Orozco et al., 2005).

Seguidamente presentamos algunos de las características fisicoquímicos del agua.

2.12.1. Conductividad eléctrica (CE)

Se define la conductividad eléctrica como la capacidad de que una sustancia pueda conducir la corriente eléctrica, por tanto, es lo contrario de la resistencia eléctrica. Es una variable que depende de la cantidad de sales disueltas en un líquido. La unidad de medición utilizada comúnmente es el siemens/cm (S/cm), microsiemens/cm ($\mu\text{S}/\text{cm}$), o milisiemens/cm (Ms/cm) (Lillo, 2007).



La conductividad eléctrica de una solución es una medida de la capacidad de la misma para transportar la corriente eléctrica y permite conocer la concentración de especies iónicas presentes en el agua, como la contribución de cada especie iónica a la conductividad es diferente, su medida da un valor que no está relacionado de manera sencilla con el número total de iones en solución, depende también de la temperatura, está relacionada con el residuo fijo por la expresión (García, 2013) .

$$\text{Conductividad } (\mu\text{S/cm}) \times f = \text{residuo fijo (mg/L)}$$

El valor de f varía entre 0.55 y 0.9.

En soluciones acuosas el valor de la conductividad es directamente proporcional a la concentración de sólidos disueltos, por otro tanto, cuando mayor sea dicha concentración mayor será la conductividad, como puede observarse en los valores apuntados a continuación, agua pura, 0.055 $\mu\text{S/cm}$, agua destilada 0.5 $\mu\text{S/cm}$, agua de montaña 1.0 $\mu\text{S/cm}$, agua de uso doméstico 500-800 $\mu\text{S/cm}$, agua de mar 50.000-60.000 $\mu\text{S/cm}$ (García, 2013).

2.12.2. Temperatura (T°)

La temperatura del agua es un parámetro muy importante dada su influencia, tanto sobre el desarrollo de la vida acuática como sobre las reacciones químicas y velocidades de reacción, así como aptitud del agua para ciertos usos útiles, la temperatura es un indicador de la calidad del agua, que influye en el comportamiento de otros indicadores de calidad de recurso hídrico, como el pH, déficit de oxígeno, la conductividad eléctrica y otras variables fisicoquímicas (DIGESA, 2009).

La temperatura del agua influye en la velocidad de los procesos fisiológicos de organismos, tales como la respiración microbiana que es responsable de gran parte de la



autopurificación que se produce en los cuerpos de agua, altas temperaturas soportan tasas de crecimiento más rápidas y permiten ciertas biotas para obtener poblaciones significativas, en condiciones naturales la temperatura del agua varía entre 0°C y 30°C (Chapman, 1996).

Por lo general, el agua fría tiene un sabor más agradable que el agua tibia, y la temperatura repercutirá en la aceptabilidad de algunos otros componentes inorgánicos y contaminantes químicos que pueden afectar el sabor, la temperatura alta del agua potencia la proliferación de microorganismos y puede incrementar los problemas de sabor, olor, color y corrosión (OMS, 2011).

2.12.3. Potencial de hidrogeno (pH)

El pH es el valor que determina si una sustancia es acida, neutra o básica. El pH es la concentración de iones o cationes hidrogeno [H⁺] presentes en determinada sustancia. La sigla significa (potencial de hidrogeno).

En general, el pH de las aguas naturales se mantiene entre 6,5 y 8 aunque excepcionalmente puede variar entre 3 y 11, el pH juega un papel importante en muchos procesos biogeoquímicos de las aguas, a su vez puede estar controlado por reacciones de precipitación-disociación, por lo que su determinación debe hacerse en el momento del muestreo, La medición del pH se emplea para expresar la intensidad de la acidez, la basicidad o la alcalinidad, el pH no indica la cantidad de compuestos ácidos o alcalinos en el agua, sino la fuerza que estos tienen. (Lillo, 2007).

- Con pH 0-7 el agua es acida, y lleva ácidos libres o sales ácidas.
- Con pH = 7 el agua es neutra, no tiene ni sales ácidas ni sales básicas; solo contiene sales neutras.
- Con pH 7 – 14 el agua es básica o alcalina y lleva sales básicas.



Cada cambio de una unidad de pH multiplica por 10 la fuerza de acidez o alcalinidad de dicha agua: así, un agua con pH 6 es 10 veces más acida que un agua con pH 7 (García, 2013).

El valor del pH compatible con la vida piscícola está comprendido entre 5 y 9. Sin embargo, para la mayoría de las especies acuáticas, la escala de pH favorable se sitúa entre los rangos de 6.0 y 7.2. Fuera de este rango no es posible la vida como consecuencia de la desnaturalización de las proteínas.

2.12.4. Dureza

La dureza del agua mide la capacidad del agua para consumir jabón o producir incrustaciones, aunque en la reacción con jabón para producir compuestos insolubles pueden intervenir Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Ba, Zn, actualmente la dureza se mide en términos de contenido en Ca y Mg (dureza total), los términos dureza permanente y dureza temporal son menos utilizados, presentan la parte de la dureza asociada al Cl^- y al SO_4^{2-} y la parte a las especies carbónicas, respectivamente, la dureza suele expresarse en mg/L^{-1} de CaCO_3 o en grados franceses: $^\circ\text{F} = 10 \text{ mg/L}^{-1}$ de CaCO_3 , las aguas duras son en general incrustantes en tanto que las blandas suelen ser agresivas (Lillo, 2007).

2.12.5. Solidos disueltos totales (TDS)

La cantidad de solidos disueltos totales (TDS) es uno de los principales indicadores de la calidad del agua, el TDS es el total de sales disueltas y se puede expresar en mg/L , g/m^3 o ppm (mg/l), mide el peso de todas las sustancias disueltas en el agua, incluyendo volátiles, no es exactamente igual al RS debido a procesos de deshidratación, perdidas de CO_2 , etc, que tienen lugar al calentar al agua a 110°C para obtener el residuo seco (Lillo, 2007).



Las sales más frecuentes en el agua son las de calcio, magnesio y sodio, en aguas no salobres, el 90% del contenido de sales en el agua, son por presencia de calcio y magnesio, Además, dicho calcio y magnesio son modestos en la utilización del agua, la calidad del agua es contenido total de sales, así la cantidad de cloruro sódico es una parte de esta salinidad y la dureza del agua (sales de magnesio y calcio) es otra parte de la salinidad del agua (García, 2013).

2.12.6. Oxígeno disuelto (OD)

Es un parámetro importante para evaluar la calidad del agua superficial, su presencia en el agua se debe al aporte del oxígeno de la atmosfera y de la actividad biológica (fotosíntesis) en la masa de agua. Asimismo, es un parámetro ambiental vital, porque su evaluación permite informar y/o reflejar la capacidad recuperadora de un curso de agua y la subsistencia de la vida acuática (ANA, 2018).

La oxigenación del agua se debe principalmente a la solubilización del oxígeno atmosférico y minoritariamente a su generación en la fotosíntesis, principalmente de algas (DIGESA, 2009).

En el contenido del oxígeno desuelto en el agua de consumo humano influye varios factores como los valores de oxígeno disuelto en la fuente de aguas, la temperatura, el tratamiento al que se somete y los procesos químicos o biológicos que tienen lugar en el sistema de distribución, el agotamiento del oxígeno disuelto en los sistemas de abastecimiento de agua puede estimular la reducción microbiana del nitrato a nitrito y del sulfato a sulfuro, y puede hacer que aumente la concentración de hierro ferroso en soluciones, con el consiguiente cambio de calor del agua al entrar en contacto con el aire al salir del grifo, no se recomienda ningún valor de referencia basado en efectos sobre la



salud, sin embargo, niveles muy altos de oxígeno disuelto pueden exacerbar la corrosión de las tuberías de metal (OMS, 2011).

2.13. NORMATIVIDAD LEGAL VIGENTE

2.13.1. Constitución política del Perú de 1993

la constitución establece lo siguiente, en el artículo 2, inciso 22, indica que: “Toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida”, así mismo, en el artículo 67 indica que el estado es responsable de promover el uso sostenible de sus recursos naturales y es quien determina la Política Nacional del Ambiente del país (Constitución Política del Perú, 1993, Artículo2).

2.13.2. Ley general del ambiente (2005) – ley N°28611.

De acuerdo a la ley general del ambiente en el artículo 66 menciona: La prevención de riesgos y daños a la salud de las personas es prioritaria en la gestión ambiental (Congreso de la República, 2005) . Es responsable del estado, a través de la autoridad de salud y de las personas naturales y jurídicas dentro del territorio nacional.

También en el artículo 90 hace mención que el estado promueve y controla el aprovechamiento sostenible de las aguas continentales a través de la gestión integrada del recurso hídrico. Provee la afectación de su calidad ambiental y de las condiciones naturales de su entorno, regula su asignación en función de objetivos sociales, ambientales y económicos, promueve la inversión y participación del sector privado en el aprovechamiento sostenible del recurso hídrico.

Artículo 133 indica: “la vigilancia y el monitoreo ambiental tienen como fin general la información que permita orientar la adopción de medidas que aseguren el cumplimiento de los objetivos de la política y normativa ambiental”.



2.13.3. Ley de recursos hídricos - ley N°29338.

El reglamento de la ley de recursos hídricos fue aprobado mediante el D.S. N° 001-2010-AG, con el objetivo principal de regular el uso, la gestión integrada del agua continental, superficial y subterránea, la actuación del estado y los particulares en dicha gestión (MINAGRI, 2009).

En el artículo 76 hace mención que la autoridad nacional, con opinión del consejo de cuenca, en el lugar y el estado físico en que se encuentre el agua, es responsable de controlar, supervisar y fiscalizar el cumplimiento de los estándares de calidad ambiental del agua y establecer medidas para prevenir, controlar y remediar la contaminación del agua y los bienes que estén asociados a esta, además, se debe vigilar y fiscalizar las disposiciones y programas a implementarse establecidos por autoridades del ambiente (MINAGRI, 2009).

2.13.4. Decreto supremo N°004-2017-MINAM

El presente decreto supremo establece los niveles de concentración de los elementos, sustancias, parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el agua en su condición de cuerpo receptor y componente básico de los ecosistemas acuáticos que no presente riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente (MINAM, 2017).

Asimismo, la norma compila las disposiciones aprobadas mediante el decreto supremo N 002-2008-MINAM, el decreto supremo N° 023-2009-MINAM y el decreto supremo N° 015-2015-MINAM, que aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, quedando sujetos a lo establecido en el presente decreto supremo y el anexo que forma parte integrantes del mismo, esta compilación normativa modifica y



elimina algunos valores, parámetros, categorías y subcategorías de los ECA, y mantiene otros, que fueron aprobados por los referidos decretos supremos (MINAM, 2017).

2.13.4.1. Categorías de los estándares de calidad ambiental para agua

Para la aplicación de los ECA para agua se debe considerar las siguientes precisiones sobre sus categorías (MINAM, 2017).

Categoría 1: Población y recreacional

a) Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable.

Entiéndase como aquellas aguas que, previo tratamiento, son destinadas para el abastecimiento de agua para consumo humano; **A1, *aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección***, entiéndase como aquellas aguas que, por sus características de calidad, reúnen las condiciones para ser destinadas al abastecimiento de aguas para consumo humano con simple desinfección, de conformidad con la normativa vigente; **A2, *aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional***, entiéndase como aquellas aguas destinadas al abastecimiento de aguas para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional, mediante dos o más de los siguientes procesos, como coagulación, floculación, decantación, sedimentación, y/o filtración o procesos equivalentes, incluyendo su desinfección, de conformidad con la normativa vigente; **A3, *aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado***, entiéndase como aquellas aguas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional que incluye procesos físicos y químicos avanzados como preflotación, micro filtración, ultra filtración, nanofiltración, carbón activado, ósmosis inversa o procesos equivalentes establecidos por el sector competente (MINAM, 2017).

b) Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación.



Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo que se ubican en zonas marino costeras o continentales, la amplitud de las zonas marino costeras es variable y comprende la franja del mar entre el límite de la tierra hasta los 500 m de la línea paralela de baja marea, la amplitud de las zonas continentales es definida por la autoridad competente; **B1, *contacto primario***, entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo de contacto primario por la Autoridad de Salud, para el desarrollo de actividades como la natación, el esquí acuático, el buceo libre, el surf, el canotaje, la navegación en tablas a vela, la moto acuática, la pesca submarina o similares; **B2, *contacto secundario***, entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo de contacto secundario por la autoridad de salud, para el desarrollo de deportes acuáticos con botes, lanchas o similares (MINAM, 2017).

Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales.

- a) **Subcategoría C1:** Extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados en aguas marino costeras; Entiéndase como aquellas aguas cuyo uso está destinado a la extracción o cultivo de moluscos (ej. ostras, almejas, choros, navajas, machas, conchas de abanico, palabritas, mejillones, caracol, lapa, entre otros), equinodermos (ej. erizos y estrellas de mar) y tunicados (MINAM, 2017).
- b) **Subcategoría C2:** Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras; entiéndase como aquellas aguas destinadas a la extracción o cultivo de otras especies hidrobiológicas para el consumo humano directo e indirecto, esta subcategoría comprende a los peces y las algas comestibles (MINAM, 2017).
- c) **Subcategoría C3:** Actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras; entiéndase como aquellas aguas aledañas a las infraestructuras marino portuarias, actividades industriales o servicios de saneamiento como los emisarios submarinos.



d) Subcategoría C4: Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas, entiéndase como aquellas aguas cuyo uso está destinado a la extracción o cultivo de especies hidrobiológicas para consumo humano (MINAM, 2017).

Categoría 3: Riesgo de vegetales y bebida de animales.

a) Subcategoría D1: *riego de vegetales*, entiéndase como aquellas aguas utilizadas para el riego de los cultivos vegetales, las cuales, dependiendo de factores como el tipo de riego empleado en los cultivos, la clase de consumo utilizado (crudo o cocido) y los posibles procesos industriales o de transformación a los que puedan ser sometidos los productos agrícolas; ***agua para riego no restringido*,** entiéndase como aquellas aguas cuya calidad permite su utilización en el riego de, cultivos alimenticios que se consumen crudos (ej. hortalizas, plantas frutales de tallo bajo o similares), cultivos se árboles o arbustos frutales con sistema de riego por aspersión, donde el fruto o partes comestibles entran en contacto directo con el agua de riego, aun cuando estos sean de tallo alto; parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales, o cualquier otro tipo de cultivo; ***agua para riego restringido*,** entiéndase como aquellas aguas cuya calidad permite su utilización en el riego de: cultivos alimenticios que se consumen cocidos (ej. habas), cultivos de tallo alto en los que el agua de riego no entra en contacto con el fruto (ej. árboles frutales), cultivos a ser procesados, envasados y/o industrializados (ej. trigo, arroz, avena y quinua), cultivos industriales no comestibles (ej. algodón), y cultivos forestales, forrajes o similares (ej. maíz forraje y alfalfa) (MINAM, 2017).

b) Subcategoría D2: *bebidas de animales*; Entiéndase como aquellas aguas utilizadas para bebida de animales mayores como ganado vacuno, equino o camélido, y para animales menores como ganado porcino, ovino, caprino, cuyes, aves y conejos (MINAM, 2017).

Tabla 1. Tabla Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable.

Parámetros	Unidades de medida	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
FÍSICOS - QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	0,5	1,7	1,7
Cianuro Total	mg/L	0,07	**	**
Cianuro Libre	mg/L	**	0,2	0,2
Cloruros	mg/L	250	250	250
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	15	100 (a)	**
Conductividad	μS/cm	1500	1600	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	3	5	10
Dureza	mg/L	500	**	**
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	10	20	30
Fenoles	mg/L	0,003	**	**
Fluoruros	mg/L	1,5	**	**
Fósforo Total	mg/L	0,1	0,15	0,15
Materiales Flotantes de Origen Antropogénicos		Ausencia de materiales flotante de origen antrópico	Ausencia de material flotante de origen antrópico	Ausencia de material flotante de origen antrópico
Nitritos (NO ₃ ⁻) (c)	mg/L	50	50	50
Nitritos (NO ₂ ⁻) (d)	mg/L	3	3	**
Amoniaco- N	mg/L	1,5	1,5	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 6	≥ 5	≥ 4
Potencial de Hidrogeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5	5,5 – 9,0	5,5 – 9,0
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1000	1000	1500
Sulfatos	mg/L	250	500	**



Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	**
Turbiedad	UNT	5	100	**
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	0,9	5	5
Antimonio	mg/L	0,02	0,02	**
Arsénico	mg/L	0,01	0,01	0,15
Bario	mg/L	0,7	1	**
Berilio	mg/L	0,012	0,04	0,1
Boro	mg/L	2,4	2,4	2,4
Cadmio	mg/L	0,003	0,005	0,01
Cobre	mg/L	2	2	2
Cromo Total	mg/L	0,05	0,05	0,05
Hierro	mg/L	0,3	1	5
Manganeso	mg/L	0,4	0,4	0,5
Mercurio	mg/L	0,001	0,002	0,002
Molibdeno	mg/L	0,07	**	**
Niquel	mg/L	0,07	**	**
Plomo	mg/L	0,01	0,05	0,05
Selenio	mg/L	0,04	0,04	0,05
Uranio	mg/L	0,02	0,02	0,02
Zinc	mg/L	3	5	5
ORGÁNICOS				
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C ₈ – C ₄₀)	mg/L	0,01	0,2	1,0
Trihalometanos	(e)	1,0	1,0	1,0
Bromoformo	mg/L	0,1	**	**
Cloroformo	mg/L	0,3	**	**
Dibromoclorometano	mg/L	0,1	**	**
Bromodiclorometano	mg/L	0,06	**	**
1. COMPUESTOS ORGANICOS VOLÁTILES				
1,1,1- Tricloroetano	mg/L	0,2	0,2	**
1,1- Dicloroetano	mg/L	0,03	**	**
1,2 Dicloroetano	mg/L	0,03	0,03	**
1,2 Diclorobenceno	mg/L	1	**	**
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	**
Tetracloroetano	mg/L	0,004	0,004	**
Tetracloruro de carbono	mg/L	4		**
Tricloroetano	mg/L	0,07	0,07	**
BTEX				
Benceno	mg/L	0,01	0,01	**
Etibenceno	mg/L	0,3	0,3	**



Tolueno	mg/L	0,7	0,7	**
Xilenos	mg/L	0,5	0,5	**
Hidrocarburos Aromáticos				
Benzo(a)pireno	mg/L	0,0007	0,0007	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,009	0,007	**
Organofosforados				
Malatión	mg/L	0,19	0,0001	**
Organoclorados				
Ardín + Dieldrín	mg/L	0,00003	0,00003	**
Clordano	mg/L	0,0002	0,0002	**
Dicloro Difenil Tricloroetano (DDT)	mg/L	0,001	0,001	**
Endrin	mg/L	0,0006	0,0006	
Heptacloro + Heptacloro Epóxido	mg/L	0,00003	0,00003	**
Lindano	mg/L	0,002	0,002	**
Carbamato				
Aldicarb	mg/L	0,01	0,01	**
II. CIANOTOXINAS				
Microcistina-LR	mg/L	0,001	0,001	**
III. BIFENILOS POLICLORADOS				
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,0005	0,0005	**
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO				
Coliformes Totales	NMP/100 ml	50	**	**
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	20	2 000	20 000
Formas Parasitarias	Nº Organismo/L	0	**	**
Escherichia coli	NMP/100 ml	0	**	**
Vibrio cholerae	Presencia/100 ml	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Organismos de vida libre (algas, protozoarios, copépodos, rotíferos, nemátodos, en todos sus estadios evolutivos) (f)	Nº Organismo/L	0	<5x10 ⁶	<5x10 ⁶

Nota 1:

- UNT: Unidad Nefelométrica de Turbiedad.
- NMP/100 ml: Numero más probable en 100 ml.
- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

Fuente: Decreto Supremo N°004-2017-MINAM

Tabla 2. Riego de vegetales y bebida de animales

Parámetros	Unidades de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido (c)	Bebida de animales
FÍSICO-QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	5		10
Bicarbonatos	mg/L	518		**
Cianuro Wad	mg/L	0,1		0,1
Cloruros	mg/L	500		**
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	100 (a)		100 (a)
Conductividad	μS/cm	2500		5000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	15		15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40		40
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,2		0,5
Fenoles	mg/L	0,002		0,01
Fluoruros	mg/L	1		**
Nitratos (NO ₃ ⁻ -N) + Nitritos (NO ₂ ⁻ -N)	mg/L	100		100
Nitritos (NO ₂ ⁻ -N)	mg/L	10		10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4		≥ 5
Potencial de Hidrogeno (pH)	Unidad de pH	6,5 a 8,5		6,5-8,4
Sulfatos	mg/L	1000		1000
Temperatura	°C	Δ 3		Δ 3
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	5		5
Arsénico	mg/L	0,1		0,2
Bario	mg/L	0,7		**
Berilio	mg/L	0,1		0,1
Boro	mg/L	1		5
Cadmio	mg/L	0,01		0,05
Cobre	mg/L	0,2		0,5



Cobalto	mg/L	0,05	1	
Cromo Total	mg/L	0,1	1	
Hierro	mg/L	5	**	
Litio	mg/L	2,5	2,5	
Magnesio	mg/L	**	250	
Manganeso	mg/L	0,2	0,2	
Mercurio	mg/L	0,001	0,01	
Níquel	mg/L	0,2	1	
Plomo	mg/L	0,05	0,05	
Selenio	mg/L	0,02	0,05	
Zinc	mg/L	2	24	
ORGÁNICO				
Bifenilos Policlorados				
Bifenilos Policlorados (PCB)	µg/L	0,04	0,045	
PLAGUICIDAS				
Paratión	µg/L	35	35	
Organoclorados				
Aldrín	µg/L	0,004	0,7	
Clordano	µg/L	0,006	7	
Dicloro Difenil Tricloroetano (DDT)	µg/L	0,001	30	
Dieldrín	µg/L	0,5	0,5	
Endosulfán	µg/L	0,01	0,01	
Endrin	µg/L	0,004	0,2	
Heptacloro y Heptacloro Epóxido	µg/L	0,01	0,03	
Lindano	µg/L	4	4	
Carbamato				
Aldicarb	µg/L	1	11	
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO				
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1000	2000	1000
Escherichia coli	NMP/100 ml	1000	**	**
Huevos de Helmintos	Huevo/L	1	1	**

- Para aguas claras. Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).
- Después de filtración simple.
- Para el riego de parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales, solo aplican los parámetros microbiológicos y parasitológicos de tipo de riego no restringido.

Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Nota 4:

- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

Fuente: Decreto Supremo N°004-2017-MINAM

Tabla 3. Conservación del ambiente acuático.

Parámetros	Unidades de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
FÍSICOS - QUÍMICOS						
Aceites y Grasas (MEH)	mg/L	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Cianuro Libre	mg/L	0,0052	0,0052	0,0052	0,001	0,001
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	20 (a)	20 (a)	20 (a)	**	**
Clorofila (A)	mg/L	0,008	**	**	**	**
Conductividad	µS/cm	1 000	1 000	1 000	**	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	5	10	10	15	10
Fenoles	mg/L	2,56	2,56	2,56	5,8	5,8
Fósforo Total	mg/L	0,035	0,05	0,05	0,124	0,062
Nitritos (NO ₂ ⁻) (c)	mg/L	13	13	13	200	200
Amoníaco Total (NH ₃)	mg/L	(1)	(1)	(1)	(2)	(2)
Nitrógeno Total	mg/L	0,315	**	**	**	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 5	≥ 5	≥ 4	≥ 4
Potencial de Hidrogeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 9,0	6,5 – 9,0	6,5 – 9,0	6,8 – 8,5	6,8 – 8,5
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	≤ 25	≤ 100	≤ 400	≤ 100	≤ 30
Sulfatos	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 2	Δ 2
INORGÁNICOS						
Antimonio	mg/L	0,64	0,64	0,64	**	**
Arsénico	mg/L	0,15	0,15	0,15	0,036	0,036
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	1	**
Cadmio Disuelto	mg/L	0,00025	0,00025	0,00025	0,0088	0,0088
Cobre	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,011	0,011	0,011	0,05	0,05
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Níquel	mg/L	0,052	0,052	0,052	0,0082	0,0082
Plomo	mg/L	0,0025	0,0025	0,0025	0,0081	0,0081
Selenio	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,071	0,071
Talio	mg/L	0,0008	0,0008	0,0008	**	**
Zinc	mg/L	0,12	0,12	0,12	0,081	0,081

ORGÁNICOS						
<u>Compuestos Orgánicos Volátiles</u>						
Hidrocarburos Totales de Petróleo	mg/L	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006
<u>BTEX</u>						
<u>Hidrocarburos Aromáticos</u>						
Benzo(a)pireno	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Antraceno	mg/L	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004
Fluoranteno	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
<u>Bifenilos Policlorados</u>						
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,000014	0,000014	0,000014	0,00003	0,00003
PLAGUICIDAS						
<u>Organofosforados</u>						
Malatión	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Paratión	mg/L	0,000013	0,000013	0,000013	**	**
<u>Organoclorados</u>						
Ardrin	mg/L	0,000004	0,000004	0,000004	**	**
Clordano	mg/L	0,0000043	0,0000043	0,0000043	0,000004	0,000004
DDT (suma de 4,4'-DDD y 4,4-DDE)	mg/L	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001
Dieldrin	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,0000019	0,0000019
Endosulfán	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,0000087	0,0000087
Endrin	mg/L	0,000036	0,000036	0,000036	0,0000023	0,0000023
Heptacloro	mg/L	0,0000038	0,0000038	0,0000038	0,0000036	0,0000036
Heptacloro Epóxodo	mg/L	0,0000038	0,0000038	0,0000038	0,0000036	0,0000036
Lindano	mg/L	0,00095	0,00095	0,00095	**	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
<u>Carbamato</u>						
Aldicarb	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,00015	0,00015
MICROBIOLÓGICO						
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1000	2 000	2 000	1 000	2 000

Nota 5:

- UNT: Unidad Nefelométrica de Turbiedad.
- NMP/100 ml: Numero más probable en 100 ml.
- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.
- (1) Aplica la Tabla N° 1 sobre estándar de calidad de Amoníaco Total en función del pH, la temperatura y salinidad para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de NH₃) que se encuentra descrita en la Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales.
- (2) Aplica la Tabla N° 2 sobre estándar de calidad de Amoníaco Total en función del pH, la temperatura y salinidad para la protección de la vida acuática en aguas de mar y estuarios (mg/L de NH₃).

Fuente: Decreto Supremo N°004-2017-MINAM



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIALES Y EQUIPOS

En el presente trabajo de investigación se utilizaron los siguientes materiales y equipos, tanto en campo y gabinete que se muestra a detalle en la siguiente tabla.

Tabla 4. Equipos y materiales que se utilizaron en el desarrollo del trabajo de investigación.

<i>RECURSOS</i>	<i>DESCRIPCIÓN</i>
<i>Infraestructura</i>	<i>Laboratorio Oficina de procesamiento de datos</i>
<i>Equipos</i>	<i>ICP-OES Multiparámetro portátil HQ40D de Hach y Hanna HI 9829. Brújula Brunton GPS Garmin modelo Etrex 10 Cámara fotográfica</i>
<i>Materiales</i>	<i>Envases de muestreo de polietileno esterilizado de 1 L y 800 mL de capacidad Jarra de 1 litro Preservante: HNO₃ Pizeta con agua destilada Deposito térmico (cooler) Cinta métrica de 50 m Cinta de embalaje Guantes de nitrilo o neopreno estériles Equipos de protección personal (EPP) Papel secante Etiqueta de muestreo y cadena de custodia Marcador de tinta indeleble, tablero y libreta de campo Plano de ubicación e imagen satelital de la zona de estudio con las estaciones de muestreo.</i>

Fuente: Elaboración propia.



3.2. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

En el presente trabajo, el tipo de investigación es de carácter descriptivo - explicativo con enfoque cuantitativo por los análisis realizados con orden numérico. Para ello se ha desarrollado las siguientes etapas de trabajo, está definida en 3 etapas, las cuales se detallan a continuación.

3.2.1. Precampo

- **Compilación de información previa:** Se buscó información bibliográfica (investigaciones científicas, tesis de diferentes universidades, artículos de investigación, revistas mineras, libros, informes técnicos de ANA Juliaca, boletín del INGEMMET, etc.), acerca de los temas relacionados a la investigación y estudios realizados anteriormente en la zona o data preexistente de nuestra área de estudio.
- **Descarga y preparación de imágenes satelitales con las estaciones de muestreo,** se elaboró mapa de ubicación, mapa base de la zona de estudio utilizando como fuente las cartas nacionales y para generación de las curvas de nivel para la topografía se utilizó el DEM del satélite ALOS PALSAR 12.5m, para la descarga de imágenes satelitales se realizó mediante SAS Planet, para su posterior procesamiento y creación de mapas se utilizó ArcGIS Desktop 10.5, para el tratamiento estadístico de los datos se utilizó el programa excel y el modelamiento geoquímico se procesó en el Software AquaChem.
- **Reconocimiento del área de estudio:** Se realizó visitas preliminares para identificar las estaciones de muestreo representativas, así mismo, reconocimiento de vías de acceso para los puntos de muestreo, etc.



3.2.2. Campo

En esta etapa se realizó muestreo de agua, se tomaron de cinco (05) estaciones de monitoreo el cual fue referenciado con GPS. Cada uno de los puntos de muestreo tubo por finalidad, saber el grado de contaminación natural y antrópico producto de las actividades de la población e industrias que se realiza alrededor de la ciudad de Juliaca y a las riberas del río Coata y Torococha.

Para la obtención de las muestras, se ejecutó en época de estiaje (junio), se consideró que es la época en el cual los ríos no presentas contaminación por aguas meteóricas. Se siguió el protocolo de muestreo para que los datos sean lo más representativos, así mismo, para la recolección de datos in-situ (físicoquímicos).

Reconocimiento de la litología de la zona de estudio, se realizó en mapa a escala 1:50,000, para ello se utilizó instrumentos y materiales como GPS, brújula, picota, lupa, imagen satelital y mapa topográfico de la zona para la identificación y descripción de las unidades litológicas del área de estudio.

3.2.2.1. Puntos de muestreo

Se realizó dos (02) salidas a campo para la toma de datos físicoquímicos in-situ y muestreo de agua para el análisis de metales pesados: El primer muestreo se ejecutó en las fechas 18/06/2021 y el segundo muestreo realizado el 26/06/2022. Se tomaron de cinco (05) puntos estratégicos de muestreo de agua de diferentes coordenadas de los ríos Coata y Torococha de la provincia de San Román, estos puntos de muestreo se ubicaron de acuerdo a los criterios establecidos en el “protocolo nacional para el monitorio de los recursos hídricos superficiales”, aprobado mediante R.J. 010-2016-ANA, donde indica que los puntos de control en cuerpo de aguas loticos se sitúan fuera de la zona de mezcla: un punto aguas arriba a una distancia de 50 metros del vertimiento y un punto de aguas

abajo a una distancia de 200 metros desde donde se realiza el vertimiento. A continuación, se detallan los puntos de muestreo.

El muestreo se dio partida del punto de muestreo TorcM1 el cual está situado en el río Torococha, en las siguientes coordenadas UTM (WGS 84) Norte: 8287060, Este: 382814. Aproximadamente 3 km aguas arriba de la confluencia de ambos ríos.

Posteriormente se ha muestreado el punto TorcM2 el cual está ubicado en el río Torococha a 200 metros antes del vertimiento de estas aguas al río Coata, en las siguientes coordenadas UTM (WGS 84) Norte: 8285202, Este: 385060.

Siguiendo con el muestreo CoatM3 el cual está ubicado en el río Coata a 200 metros aguas abajo de la zona del vertimiento del río Torococha en el río Coata, en las siguientes coordenadas UTM (WGS 84) Norte: 8285359, Este: 385378.

El punto de muestreo CoatM4 se ubica en el río Coata a 50 metros aguas arriba de la zona del vertimiento de aguas del río Torococha en el río Coata en las siguientes coordenadas UTM (WGS 84) Norte: 8285593, Este: 385069.

Por último, la muestra CoatM5 ubicado en el río Coata a 50 metros aguas arriba del puente Churi. En las siguientes coordenadas UTM (WGS 84) Norte: 8286638, Este: 385295.

Tabla 5. *Coordenadas UTM (WGS 84) de los puntos de monitoreo.*

Punto de muestreo	Zona	Coordenadas Norte	Coordenadas Este	Altitud (m.s.n.m)
TorcM1	19 L	8287060	382814	3831
TorcM2	19 L	8285202	385060	3826
CoatM3	19 L	8285359	385378	3824

CoatM4	19 L	8285593	385069	3824
CoatM5	19 L	8286638	385295	3822

Fuente: Elaboración propia.

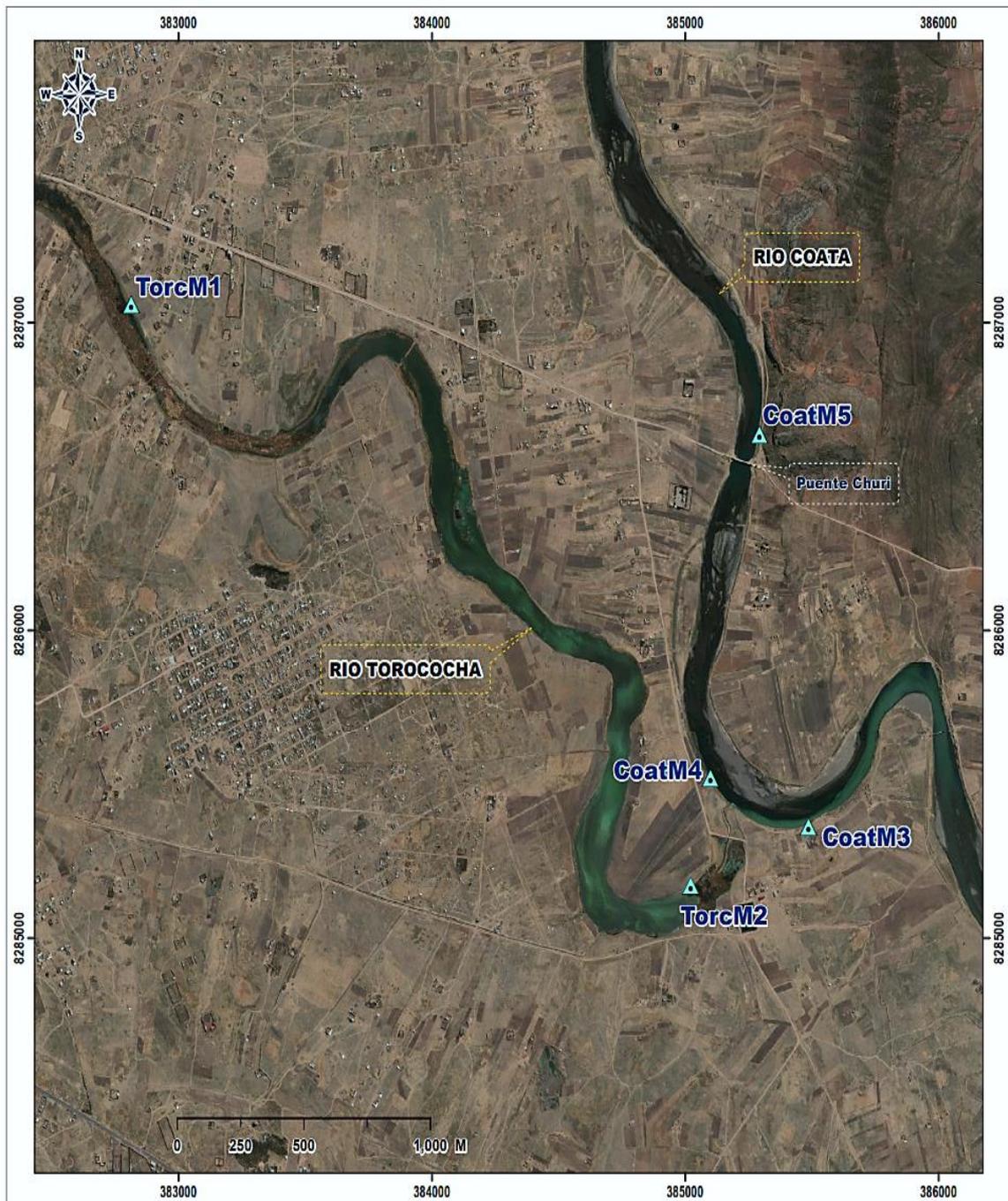


Figura 6. Se muestra la ubicación de los puntos de muestreo en imagen satelital. Se detalla el ploteo realizado de las estaciones de muestreo y toma de datos, (ver anexo A, mapa N°2).



3.2.2.1. Instructivo para la toma de muestra

Es imprescindible cumplir con los estándares de calidad para sus resultados, por lo tanto, tener en cuenta las siguientes instrucciones.

Se requiere tener todos los implementos necesarios para el proceso del muestreo de agua y para la obtención de parámetros fisicoquímico in-situ.

Una vez en el punto de muestreo, el operador responsable, se coloca las botas de jebe, lentes, bata, guantes de nitrilo o neopreno (nuevos) y procede a recolectar muestra en envases de muestreo de polietileno estéril de 800 mL proporcionados por el laboratorio. Todas las muestras se recolectan a contracorriente, si fuera posible a 30 cm por debajo de la superficie y a la mitad del cuerpo del agua, evitando las zonas de turbulencia y previniendo remover fondos de lodos o sólidos de las paredes del cuerpo de agua (en el río).

3.2.2.2. Cadena de custodia

Es el proceso de control y vigilancia del muestreo, incluyendo los métodos de toma de la muestra, preservación, codificación, transporte y su correspondiente análisis. Esta es esencial para asegurar la representatividad e integridad de la muestra desde su toma de las muestras hasta el reporte de resultados por parte del laboratorio.

- Etiquetas: Es la identificación de las muestras, debe colocarse a los frascos antes del muestreo y debe contener la siguiente información.
- Código: Número de identificación de la muestra.
- Fecha: Fecha en la cual se está realizando la toma de la muestra.
- Hora: Hora de la toma de la muestra.
- Lugar: Es la ubicación general del sitio de toma. (coordenadas UTM).
- Tipo de muestra: Agua de manantial, termal, de río, de laguna, de piscina, etc.

- Punto de toma: Lugar donde se toma la muestra.
- Parámetros medidos in-situ: pH, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales y temperatura.
- Preservantes: Preservante que se utiliza, para metales pesados HNO_3 .
- Responsable: Nombre del recolector
- Solicitante: Nombre de la empresa o persona que solicita la toma de las muestras.
- Teléfono: Teléfono del usuario.
- Correo: Correo del usuario.
- Dirección: Dirección del usuario.

3.2.2.3. Muestreo de agua para el análisis de metales pesados

Cada una de las muestras se tomaron en envases de polietileno esterilizado de 800 mL Las muestras se etiquetaron adecuadamente con las representaciones de TorcM1, TorcM2, CoatM3, CoatM4 y CoatM5, de tal manera que en el laboratorio se analizó con los mismos códigos, estas muestras recolectadas y etiquetadas adecuadamente fueron enviados para su análisis de metales pesados.



Figura 7. Muestreo de agua para el análisis de metales pesados. Estación de muestreo TorcM1: Coordenadas UTM: E: 382814 - N: 8287060. **A)** Corresponde a la primera salida de campo, 1er muestreo de agua para metales pesados. **B)** Realizado en la segunda salida de campo, 2do muestreo de agua para el análisis en laboratorio.



Figura 8. Estación de muestreo TorcM2. Coordenadas UTM: E: 385060 – N: 8285202. Muestreo de agua para análisis de metales pesados. A) Figura tomada en el 1er muestreo. B) Correspondiente del 2do muestreo.



Figura 9. Estación de muestreo CoatM3. Coordenadas UTM: E: 385378 - N:8285359. A) Figura correspondiente del 1er muestreo. B) Figura tomada en el 2do muestreo.

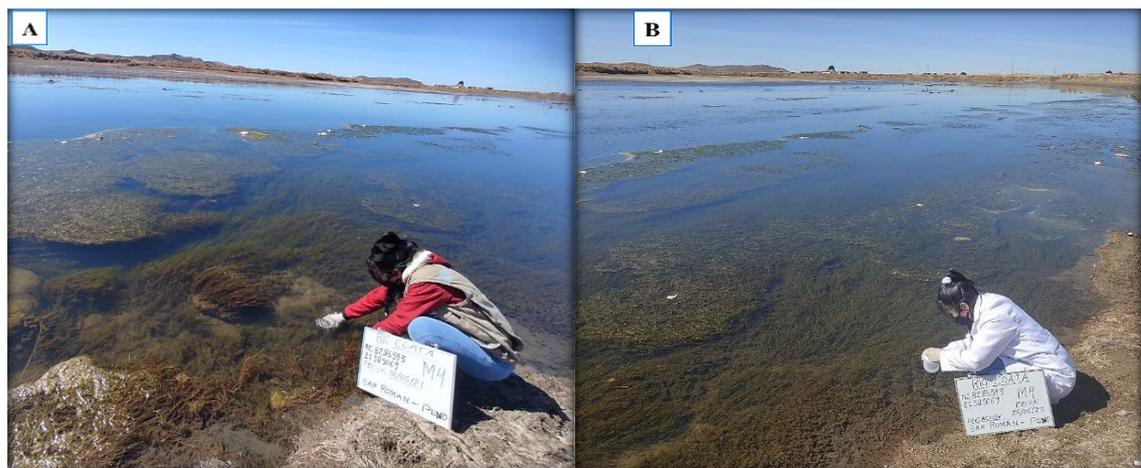


Figura 10. Estación de muestreo CoatM4. Coordenadas UTM: E: 385069 – N: 8285593. Muestreo de agua para análisis de metales pesados. A) Figura tomada en el 1er muestreo realizado. B) Figura correspondiente del 2do muestreo.



Figura 11. Estación de muestreo CoatM5. Coordenadas UTM: E: 385295 - N: 8286638. Muestreo de agua para el análisis de metales pesados. A) Figura correspondiente al 1er muestreo. B) Figura tomada en el 2do muestreo realizado 26/06/22.

Las muestras obtenidas del primer muestreo para el análisis de metales pesados se mandaron al laboratorio Analytical Laboratory E.I.R.L.(ALAB), Bellavista – Callao – Lima – Perú. Acreditado por principales organismos nacionales e internacionales como a) Instituto nacional de calidad (INACAL-DA). Perú. b) International Accreditation Service (IAS). EEUU.



Figura 12. Se presentan las muestras obtenidas del 1er muestreo realizado el 18/06/2021. Para su respectivo análisis de metales pesados en el laboratorio Analytical Laboratory E.I.R.L.

Las muestras obtenidas del segundo muestreo para su análisis de metales pesados se mandaron al laboratorio Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L. (L.A.S. E.I.R.L.). Laboratorio de ensayo acreditado por la dirección de acreditación del INACAL con registro N° LE-050.



Figura 13. Se observan las muestras obtenidas del 2do muestreo realizado el 26/06/2022. Para el análisis de metales pesados en el Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.

3.2.2.4. Obtención de parámetros fisicoquímicos in-situ

La metodología que se aplicó para la determinación de los parámetros fisicoquímicos, es con la obtención de datos en campo (in-situ).

Para obtener los datos fisicoquímicos en campo en el 1er muestreo se hizo uso el equipo multiparámetro portátil HQ40D de Hach, previamente calibrado con estándares. Los parámetros que se obtuvo con este equipo son: pH, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica y temperatura.

En el segundo muestreo para la obtención de datos de los parámetros fisicoquímicos se utilizó el multiparámetro Hanna HI 9829, previamente calibrado con

estándares. Los datos que se obtuvo con este equipo son: pH, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales y temperatura.



Figura 14. En la figura se presenta los equipos que se utilizó para la toma de datos de los parámetros fisicoquímicos en campo in-situ. **A)** Se muestra el multiparámetro portátil HQ40D de Hach, utilizado en la 1ra salida a campo. **B)** Se aprecia el multiparámetro Hanna HI 9829, se hizo uso en la 2da salida a campo.

- **Procedimiento de la obtención de datos de parámetros fisicoquímicos en campo.**

La lectura de los siguientes parámetros fisicoquímicos como: Potencial de hidrogeniones (pH), oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales y la temperatura se realizó en in-situ en los cinco (05) estaciones de muestreo, se ejecutó en el mismo cause, así mismo, también extrayendo en un recipiente de plástico de un litro de agua y sumergiendo las sondas del multiparámetro en el interior de la muestra tomada o en el mismo cause en cada punto de las estaciones de monitoreo y esperando hasta que se logre una lectura constante.



Figura 15. Estación de muestreo TorcM1. Se observa la obtención de datos de los parámetros fisicoquímicos en campo, con el equipo multiparámetro Hanna HI 9829. Realizado en el 2do monitoreo, fecha 26/06/2022.



Figura 16. Estación de muestreo TorcM2. Se presenta la obtención de datos de los parámetros fisicoquímicos en campo, con el equipo multiparámetro portátil HQ40D de Hach. Fecha 18/06/2021, correspondiente al 1er monitoreo.



Figura 17. Obtención de datos de los parámetros fisicoquímicos in-situ. Realizado en el 2do muestreo, fecha 26/06/2022. A) Estación de muestreo TorcM2. B) Estación de muestreo CoatM3.

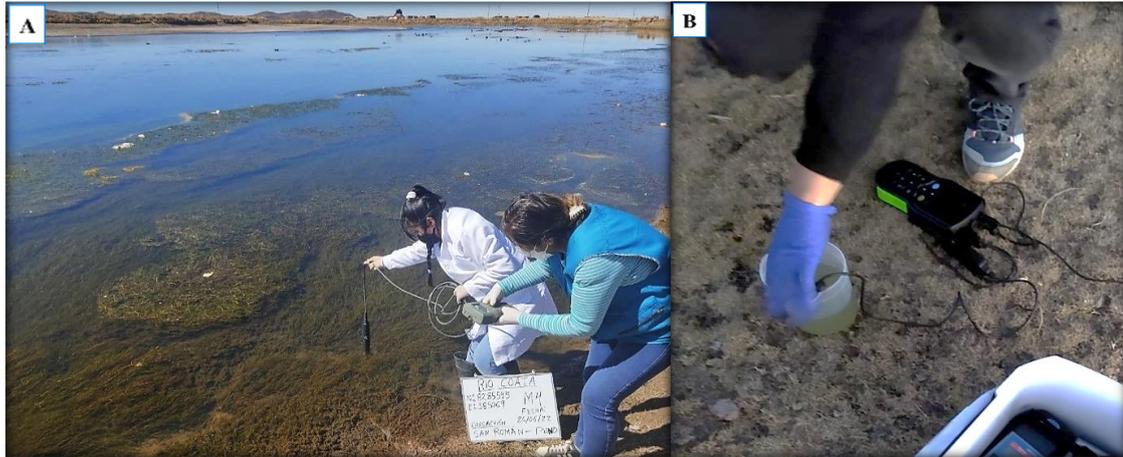


Figura 18. Se muestra la medición de los parámetros fisicoquímicos en campo. **A)** Estación de muestreo TorcM2, realizado en el 2do muestreo. **B)** Estación de muestreo CoatM5, correspondiente al 1er muestreo.

3.2.2.5. Muestreo de agua para la obtención de datos fisicoquímicos en laboratorio

La obtención de la muestra se realizó de las 05 estaciones de monitoreo. Se utilizo frascos de plástico, capacidad de 1L. Las muestras se tomaron de acuerdo al manual de muestreo para análisis fisicoquímico. Todas las muestras se recolectaron a contracorriente, evitando las zonas de turbulencia. Se realizo enjuague de los frascos hasta 02 a 03 veces con el agua a muestrear de cada punto de muestreo. Luego de los procedimientos se realizó con el llenado de la muestra y sellado del frasco dentro del agua, para no dejar aire atrapado en el interior del frasco.

Estas muestras recolectadas y etiquetadas adecuadamente fueron enviados para su análisis fisicoquímico al Laboratorio de Aguas INI-PUNO.



Figura 19. Se aprecia el muestreo realizado 26/06/2022, para el análisis fisicoquímico en el laboratorio de aguas INIA – PUNO. **A)** Corresponde a la estación de muestreo TorcM1. **B)** Tomado en la estación de muestreo TorcM2, **C)** Perteneciente a la estación de muestreo CoatM4. **D)** Foto tomada en el punto de muestreo CoatM5.

3.2.3. Postcampo

3.2.3.1. Laboratorio

Las muestras de agua que se recolectó en campo para su respectivo análisis de metales pesados, las muestras del 1er muestreo fueron enviados al laboratorio ALAB (Analytical Laboratory E.I.R.L) Bellavista – Callao – Lima – Perú. Las muestras obtenidas del 2do muestreo fueron entregadas en el laboratorio Analíticos del Sur E.I.R.L. (L.A.S. E.I.R.L.) – Arequipa - Perú. La metodología que se aplicó en ambos laboratorios fue la espectrometría por emisión atómica, el método EPA 200.7. Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuos por acoplamiento inductivo plasma – método de espectrometría de emisión atómica.

Se realizaron los siguientes análisis:



- ICP-OES para As
- ICP-OES para Hg
- ICP-OES para Cr, Sr, Ti, Mo, Na, Ni, P, Sb, Se, SiO₂, V, K, Li, Fe, Cu, Ca, Be, Ag, Zn, Cd, B, Al, Mg, Mn, Sn, Ti, Co, Ba, Pb.

Para la determinación de los siguientes parámetros físicos y químicos: Ca, Mg, K, Na, Cl⁻, SO₄⁻², CO₃⁻², HCO₃⁻, NO₃⁻, también se evaluó el pH y C.E en el laboratorio de aguas y suelos correspondiente al INIA – PUNO.

3.2.3.2. Gabinete

Los resultados obtenidos in-situ y los datos emitidos por parte de los laboratorios ALAB, LAS y INI-PUNO. Se almaceno toda la información en una base de datos (excel), para realizar posteriores tratamientos, así mismo se hizo una validación de los datos, posterior a ello se sistematizo la información referente a las fotografías. Se evaluó los niveles de contaminación según las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos y de los metales pesados existentes como Al, As, Cd, Cr, Fe, Hg, Mn, Pb y Zn, con los estándares establecidos de la calidad ambiental para agua.

Se da la clasificación de los cuerpos de agua continentales superficiales, emitido por ANA en el año 2018, indica que la población residente de la cuenca baja del río Coata, se utiliza el recurso hídrico mayormente para uso pecuario, correspondiente a la categoría 3: riego de vegetales y bebida de animales, establecidos por el D.S. 004-2017-MINAM (ECA-AGUA). Lo mencionado esta corroborada con la codificación N°01761 de la R.J. 056-2018-ANA, en donde indica que la zona de estudio del río Coata pertenece a la categoría mencionada. Así mismo, según la Autoridad Nacional de Agua, al río Torococha lo clasifica en la categoría 3: subcatg. D1 (riego de vegetales) y subcatg. D2 (bebida de animales). Para la clasificación a realizar en el trabajo de investigación se incluye las siguientes categorías: categoría 1: subcatg. A1 (aguas que pueden ser



potabilizadas con desinfección) y subcatg. A2 (aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional) y categoría 4: conservación del ambiente acuático, subcatg. E2: ríos – costa y sierra. Con el objetivo de saber que tan contaminados están los cuerpos de agua para las categorías mencionadas.

3.2.3.3. Gis y AquaChem

Con los datos obtenidos y organizados se procedió a ubicar los puntos de muestreo y los resultados obtenidos en mapas el cual fue elaborado en el Software ArcGIS 10.5 y para el modelado geoquímico se utilizó el programa AquaChem.

3.3. SOFTWARES UTILIZADOS

Los programas que se utilizó para el presente trabajo de investigación en el procesamiento de información se contaron con diferentes programas como:

- **ArcGIS Desktop:** Es un completo sistema que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir informaciones geográficas. Se utiliza para administras los proyectos y flujos de trabajo de SIG, así como para crear datos, para la elaboración de mapas, modelos y aplicaciones.
- **SAS Planet:** Es un programa gratuito (freeware con licencia GNU) diseñado para ver y descargar imágenes de satélite de alta resolución y mapas convencionales de servidores como: Google Earth, Google Maps, Nokia, Here, Yahoo, Yandex, OpenStreetMap, ESRI, Navteq, etc.
- **AquaChem:** Es un programa diseñado por Waterloo Hydrogeologic para realizar análisis numéricos y gráficos que sirven para interpretar datos de calidad de aguas. Contiene una base de datos totalmente modificable e incluye un conjunto importante de herramientas de análisis para datos de calidad de aguas. Permite graficar diagramas de Piper, grafico de correlación Scatter, diagrama de Stiff, Durov, etc.

CAPÍTULO IV

CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.1. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.1.1. Ubicación política

La presente investigación del estudio geoquímico y la calidad de las aguas superficiales de los ríos Coata y Torococha está ubicado dentro del departamento de Puno, se sitúa en las superficies de la provincia de San Román, ocupa la superficie de los distritos de Caracoto y Juliaca. (ver anexo A, mapa N° 01)

Tabla 6. Ubicación política del área de estudio.

Región	Puno
Provincia	San Román
Distritos	Caracoto y Juliaca

Fuente: MTC y Elaboración propia.

4.1.2. Ubicación geográfica

Tabla 7. Ubicación geográfica del área de estudio.

DETALLE	VALORES
Coordenadas centrales del área de estudio	N: 8285202
	E: 385060
Altitud promedio	3825 m.s.n.m.
Zona geográfica	19L
DATUM	WGS 84

Fuente: Elaboración propia

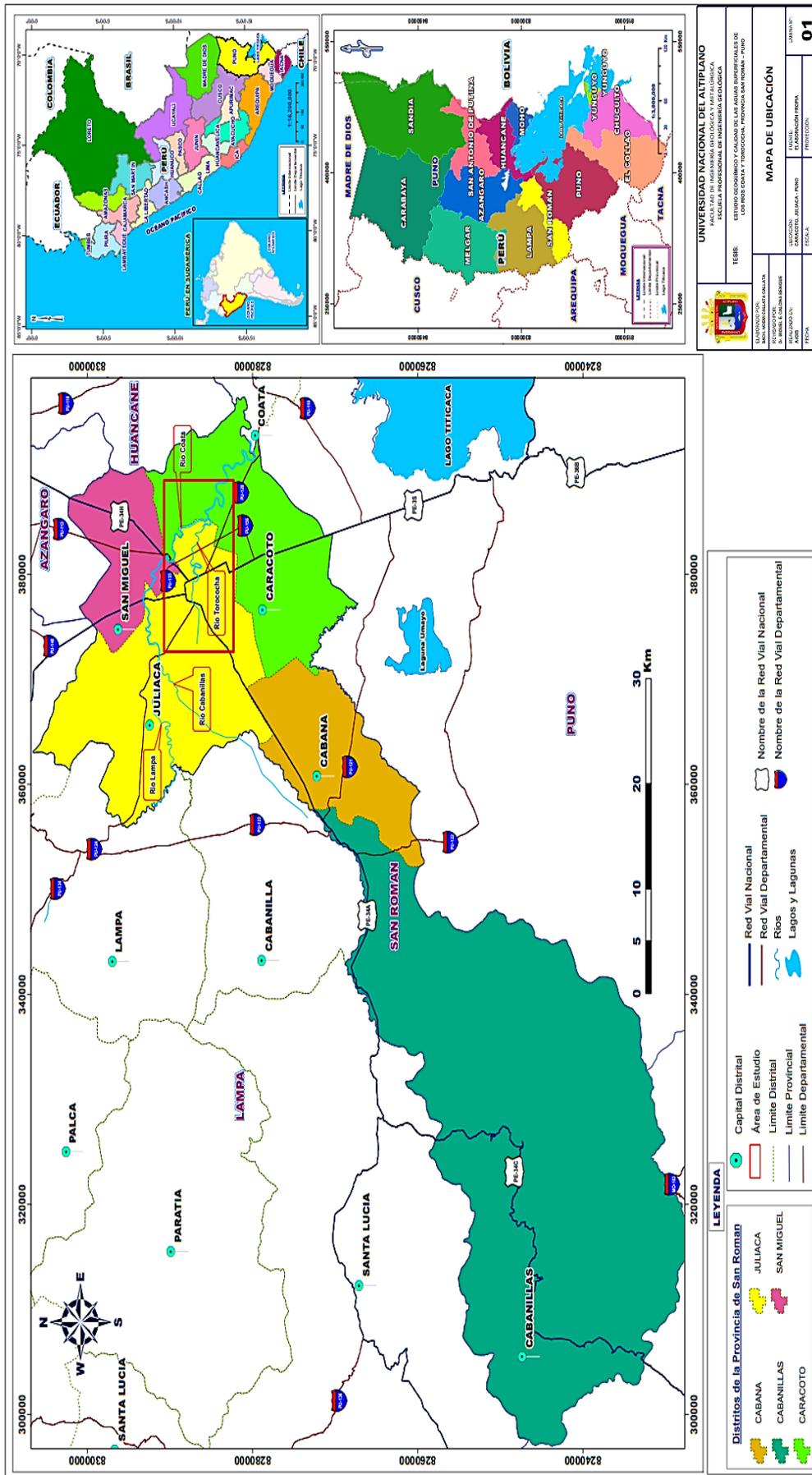


Figura 20. Ubicación geográfica de la zona de estudio.



4.2. ACCESIBILIDAD AL ÁREA DE ESTUDIO

Para llegar a los distritos de Juliaca y Caracoto en donde se ubica nuestra área de estudio, se puede realizar el siguiente recorrido.

Tabla 8. Accesibilidad al área de estudio

Tramo	Transporte	Distancia (km)	Tiempo promedio	Condición de vía
Lima – Juliaca	Aéreo	841.56	1 h 30 min	-----
Lima – Juliaca	Terrestre	1,266	20 h 32 min	Asfaltado
Plaza de armas Juliaca – Zona de estudio	Terrestre	08	25 min	Afirmado

Fuente: Google maps y elaboración propia

4.3. ASPECTOS CLIMÁTICOS

En los distritos de Caracoto y Juliaca, los veranos son cortos, frescos y nublados; los inviernos son cortos, muy frío y mayormente despejados y está seco la mayor parte del año.

4.3.1. Temperatura

Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ y rara vez baja a menos de $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ o sube a más de $20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

La temperatura templada se presenta en los meses de octubre, noviembre y diciembre, la temperatura máxima promedio diaria es más de $17\text{ }^{\circ}\text{C}$. El más cálido del año en Caracoto y Juliaca es en noviembre, con una temperatura máxima promedio de $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ y mínima de 5 a $6\text{ }^{\circ}\text{C}$.



La temperatura fría máxima promedio diarias es menos de 16 °C (conocido también como la época de heladas), El mes más frío del año en Juliaca y Caracoto es en los meses de junio y julio, con una temperatura mínima promedio de -4 °C y máxima de 16 °C, información obtenida de la página del SENAMHI.

4.3.2. Precipitación

La precipitación se presenta más en los meses de diciembre a marzo, con una probabilidad de más del 20% de que cierto día será un día mojado, durante este periodo se tiene la presencia de lluvia, nevadas, granizadas con despliegue de rayos. En este periodo no es recomendable realizar muestreos de agua ya que está contaminado con el agua memoria. El mes que presenta más precipitación en Juliaca y Caracoto es enero. La temporada más seca se presenta en los meses de marzo a diciembre. El mes con menos a casi nulo, días mojados en Caracoto y Juliaca en julio, información obtenida de la página del SENAMHI.

4.3.3. Humedad

El nivel de humedad percibido en Caracoto y Juliaca, medido por el porcentaje de tiempo en el cual el nivel de comodidad de humedad es bochornoso, o insoportable, no varía considerablemente durante el transcurso del año, y permanece prácticamente constante en 0%, información obtenida de la página del SENAMHI.

4.3.4. Vientos

La velocidad, frecuencia y dirección de los vientos son variadas, en el transcurso del año.

El en distrito de Caracoto y Juliaca el periodo de mayor frecuencia de vientos en términos generales se presenta del mes de octubre a marzo. Con velocidades promedio de

viento de más de 10.1 Km/h. El mes más ventoso del año en Caracoto y Juliaca es diciembre. Con una velocidad promedio de 11.2 Km/h

El periodo más con menos frecuencia del año es del mes de marzo a octubre. El mes más calmado del año en Caracoto y Juliaca es mayo, con vientos a una velocidad promedio de 9.2 Km/h, información obtenida de la página del SENAMHI.

4.4. FAUNA Y FLORA

En la zona de investigación se presenta variedad de fauna y flora, se hará mención las más representativas de la zona.

4.4.1. Fauna

4.4.1.1. Mamíferos

- **Ganado vacuno:** Su nombre científico “*Bos Taurus*” con el cual se le asigno al animal Vacuno domestico europeo. Vaca en el caso de la hembra, Toro en caso del macho. La crianza del ganado vacuno en esta zona, es una de las actividades para la obtención del ingreso económico.



Figura 21. Vista de la crianza del ganado vacuno en la comunidad de Canchi Chico – distrito Caracoto.



- **Oveja:** Su nombre científico con lo que se le denomina es “*Ovis Aries*”, es un mamífero cuadrúpedo ungulado doméstico, utilizado como ganado (Aliaga, 2012). La crianza de la oveja en esta zona, es una de las actividades para la obtención del ingreso económico, para solventar sus gastos cotidianos.
- **Conejo Salvaje:** Su nombre científico “*Oryctolagus cuniculus*” con el cual se le denomina al conejo salvaje, es una especie de mamíferos logomorfo perteneciente de la familia leporidae, y hasta la actualidad es el único miembro del género *Oryctolagus* (Tovar, 2011). Este mamífero puede llegar a medir hasta 50 cm y su masa puede alcanzar hasta 2.5 Kg. Sus características peculiares que presenta son los siguientes: Tiene un cuerpo cubierto de un pelaje espeso y lanudo, de color pardo pálido a gris, ojos grandes y cabeza ovalada. Estos en su general viven en madrigueras, que ellos mismo lo realizan.

4.4.1.2. Aves

- **Flamenco andino:** Su nombre científico “*Phoenicoparrus chilensis*” con el cual se le denomina al Flamenco andino, en nuestro país (Perú), esta especie de ave perteneciente de la familia de los fenicoptéridos es conocido localmente como ***Parihuana*** (Tovar, 2011). Las características peculiares que presenta son los siguientes: Puede llegar a tener un tamaño de 1.1 m y una altura de 136 cm. Su envergadura alar puede llegar a medir de 1 a 1,6 metros. El color general que presenta su plumaje es blancuzco con rosado fuerte, la parte de la cola en su mayoría se encuentra de plumas negras, también la parte superior del pecho presenta coloración violeta. Su pico presenta casi en su totalidad de color negro, la base del pico presenta de color amarillo. Así mismo sus patas son largas de color amarillo.



Figura 22. Vista del río Coata, aguas abajo de la zona del vertimiento de aguas del río Torococha en el río Coata. Se puede observar flamencos andinos (*Parihuana*).

- **Pato silvestre** (*Platyrhychos de los anecdotarios*): Sus características que presenta: Tienen pies anaranjados ambos sexos, la diferencia que presentan el macho de la hembra (Tovar, 2011). El pato silvestre macho presenta plumas grises o cafés, cabeza de color verde brillante, un collar blando alrededor del cuello, pecho morado y plumas largas risadas. Muestras la hembra no presenta las plumas muy risadas y se presenta de color café, negra y blanca este color le ayuda a mezclarse con la vegetación.



Figura 23. En la figura se presenta el pato silvestre. **A)** La figura fue tomada en el río Coata 100 m aguas abajo del puente Churi. **B)** Figura tomada a 50 m aguas arriba del puente Churi.

- **Águila:** Se le denomina por este nombre a las aves de presa. Esta especie es perteneciente a la familia de Accipitridae y subfamilia de los Buteoninae. Son de gran tamaño (Parque Cordillera, 2017). Las características peculiares que presenta son por tener un pico grande, poderoso, puntiagudo y pesado para desprender la carne de su presa también poseen las garras poderosas el cual es útil para sujetar sus presas.



Figura 24. Se aprecia el Águila, la fotografía fue tomada en la zona de estudio en el río Coata a 200 m del puente Churi.

- **Láridos (*Gaviota*):** Esta especie pertenece a la familia de aves del orden “Charadriiformes” (Tovar, 2011). Estas son conocidas por el nombre de Gaviotas. Presenta la mayoría de las Gaviotas su plumaje gris, blanco o negro, tienen picos robustos, bastante largos.



Figura 25. Se aprecia el ave Láridos más conocido como Gaviota. **A)** Figura tomada en el río Torococha en la estación de muestreo TorcM2. **B)** Figura tomada en el río Coata en el puente Churi.

4.4.2. Flora

- **Stipa ichu:** Se le conoce con el nombre de Ichu, paja brava o paja ichu. Es un pasto que se emplea como forraje para el ganado. Sus tallos de esta planta alcanzan un tamaño de 60 a 180 centímetros de altura.



Figura 26. Se observa el Stipa ichu en los alrededores de los ríos Coata y Torococha.

- **Totora (*Schoenoplectus californicus*):** Es una planta herbácea perenne acuática. Esta planta llega a medir desde 01 metros hasta 03 metros. Se da uso en la construcción de viviendas y embarcaciones para navegar en el lago Titicaca y así mismo se utiliza como forraje.



Figura 27. Vista del río Torococha en el cual se aprecia el crecimiento de la Totora.

- **Avena:** Esta planta se utiliza como alimento y también como forraje. Sus características que presenta: Tallo grueso recto, su longitud puede variar desde 50 cm hasta un metro y medio, es de color verde oscuro, también presenta hojas planas y alargadas, sus flores se exhiben en espigas (Mercedes, 1958). Esta planta es cultivada por ser rica en proteínas de alto valor biológico, grasas y un gran porcentaje de vitaminas y minerales.



Figura 28. Vista del cultivo de la avena en los alrededores del río Coata. Aproximadamente a 200 m de la desembocadura del río Torococha.

- **Vicia faba:** Esta planta es conocida generalmente como Haba, es una especie de planta herbácea perteneciente a la familia de Fabaceae. Las características que presenta: Tallos fuertes y angulosos que pueden medir hasta 1.60 metros de altura, se presenta de color verde oscuro, las flores se presentan de forma agrupadas (Perugachi, 2017). Se cultiva para la alimentación de los animales y así también para el consumo humano.
- **Chenopodium quinoa:** Conocida como quinua o quinoa. Es cultivada para el consumo humano ya que sus granos son altamente nutritivos, superando en valor biológico, calidad nutricional y funcional a los cereales tradicionales, como la avena, trigo y el maíz.



Figura 29. Se aprecia el cultivo de la quinua, fotografía tomada en el río Coata aproximadamente 100 m aguas arriba del vertimiento del río Torococha en el río Coata.

4.5. ASPECTOS SOCIALES

La población del distrito de Juliaca, desde el siglo XIX ha desarrollado una gran actividad relacionada con el comercio, que hoy en día la ciudad de Juliaca, su principal actividad económica es el comercio. Así mismo también se dedican a actividades vinculadas a la producción micro industrias y artesanal, construcción y otras actividades. La razón por el que el sector comercio ha sido impulsado año tras año es por las instalaciones y ampliaciones de supermercados que operan en la ciudad de Juliaca, el cual genera demanda de la contratación de mano de obra calificada.

El 22.7% de la población de Juliaca cuenta con agua potable y el resto de la población no cuenta con agua potable ni servicios de saneamiento ya que este porcentaje de la población consumen agua de pozos subterráneos, río, acequia, manantial y algunos se abastecen con agua potable a través del camión cisterna.

Su principal actividad económica de los pobladores del distrito de Caracoto es la agricultura y ganadería, con incidencia en marcada en la crianza de ganado vacuno y

ovino. La mayor parte de su población no cuenta con agua potable ni servicios de saneamiento. La mayoría de la población consume agua extraída de pozos artesanales, pozos con anillos de concreto y de tubulares. Por este medio la población extrae agua para consumo humano y para sus animales (vacuno y ovinos). La población que vive a las riberas de la cuenca Coata, esta fuente es utilizado para el consumo de los animales e incluso algunos usan para consumo humano.

La calidad del agua que presenta estas fuentes en su gran totalidad no es apta para consumo humano, presenta el contenido de arsénico (As) por encima de los límites permisibles establecido para la subcategoría A1 de los estándares de calidad ambiental para agua D.S. N° 004-2017 MINAM. Por el cual algunas localidades del distrito de Caracoto es abastecido con agua potable a través del camión cisterna y algunos mediante el acarreo de pozos cercanos apta para consumo humano, en algunos casos del pueblo de Caracoto o de la ciudad de Juliaca.



Figura 30. Vista panorámica de la comunidad de Canchi Chico del distrito de Caracoto. En el cual se aprecia la cuenca baja del río Coata aguas.

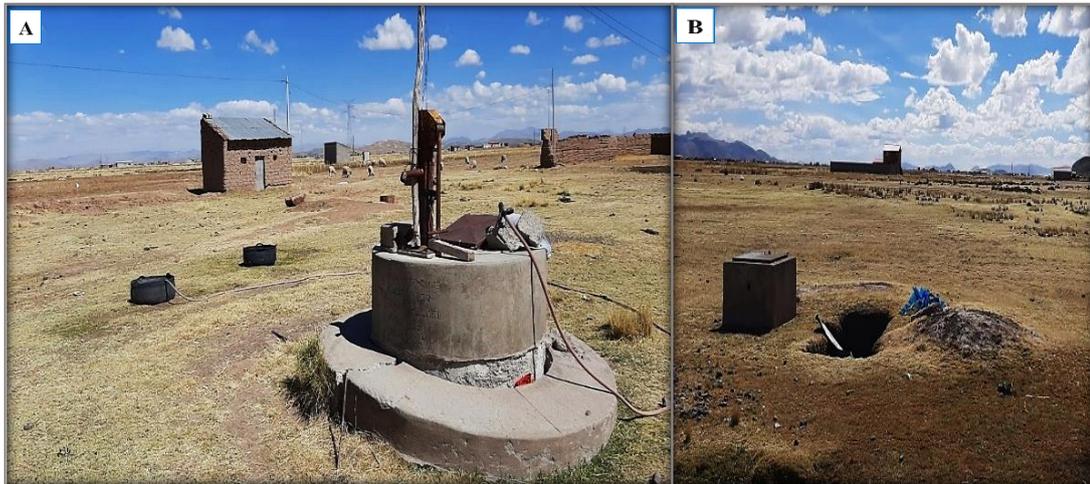


Figura 31. Se muestra en la figura A y B, sistema existente para la obtención de agua para el consumo de algunos pobladores de la comunidad de Canchi Chico del distrito de Caracoto.



Figura 32. Vista de algunos sectores de la comunidad de Canchi Chico del distrito de Caracoto, se abastecen de agua potable mediante camión cisterna, la población utiliza tanques para almacenar agua potabilizada entregada por parte de la municipalidad, como se aprecia en las figuras A), B), C) y D).



Figura 33. Elaboración de tunta o moraya. Pobladores de Juliaca y Caracoto que residen a las orillas del cauce, utilizan el río Coata para la producción de tunta o moraya, con fines de comercio de este producto (venta). **A)** Figura tomada en el punto de muestreo CoatM4. **B)** Ubicado en la estación de muestreo CoatM5.

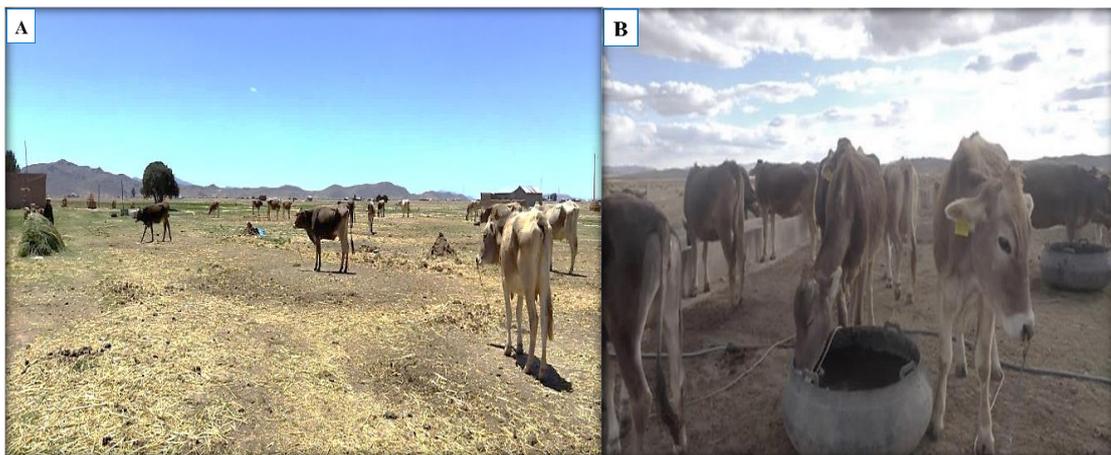


Figura 34. Vista de crianza de ganado vacuno en la comunidad de Canchi Chico del distrito de Caracoto. Coordenadas: N: 8288676.62 – E: 384440.06. **B)** uno de los principales usos que le dan el agua extraída de los pozos artesanales, pozos con anillo de concreto y de tubular es para el consumo del ganado vacuno e incluso algunos pobladores que no cuentan con agua potable o servicio de saneamiento, consumen estas aguas sin ningún tipo de tratamiento.

4.6. CONTEXTO GEOLÓGICO

4.6.1. Depósitos Cuaternarios

Las unidades litológicas anteriores son cubiertas por depósitos del sistema cuaternario, serie pleistoceno y holoceno. Las unidades que se presentan en la zona de estudio son: bofedales, depósito fluvial (Q-fl) y depósito aluvial (Q-al). (ver anexo A, mapa N°4)

Bofedales. - Se aprecia más después de la confluencia de los ríos Cabanillas y Lampa formando el río Coata y cuenca baja del río Coata, también se presenta al SW y S de la ciudad de Juliaca. **Depósitos lacustres.** - No se presentan en grandes extensiones en el cuadrángulo de Juliaca, se aprecia aguas abajo de la confluencia del río Torococha en el río Coata, al SE de la ciudad de Juliaca o al NE de la ciudad de Caracoto. **Depósito coluvial.** - Esta unidad se aprecia solo al pie del talud de la formación calapuja, compuesta de arenas, gravas heterométricas producto del desprendimiento de los macizos rocosos de la formación mencionada.

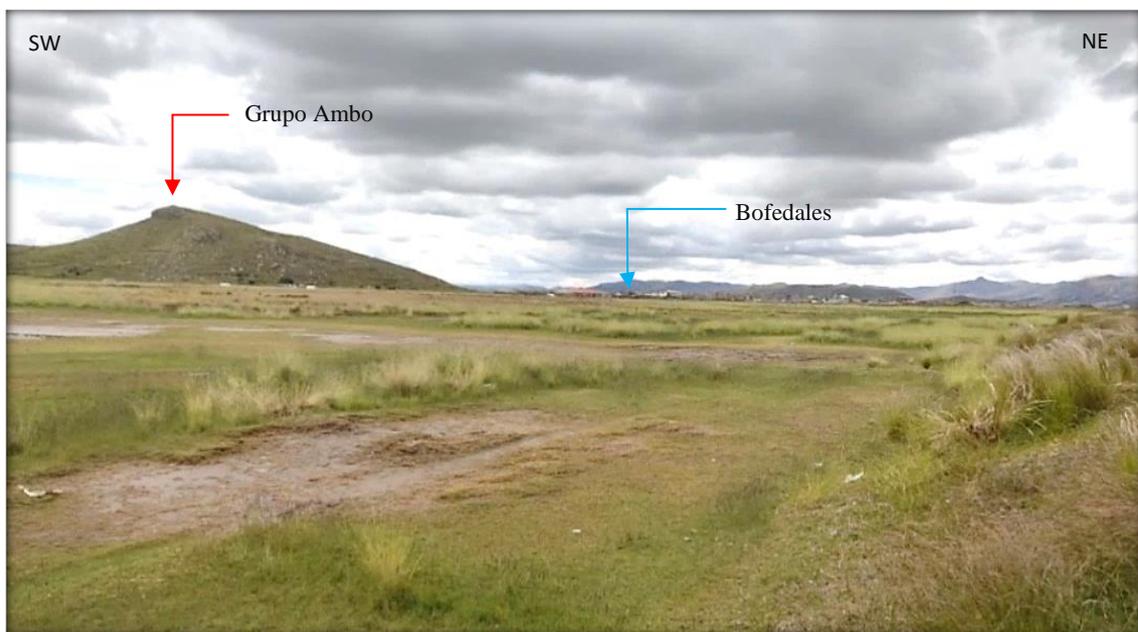


Figura 35. Vista SW-NE donde se visualiza el Grupo Ambo y bofedales. N: 8286608 – E: 373853, lugar desde donde nace el río Torococha.

Depósito fluvial. - Esta unidad en la zona de estudio, está constituida de fragmentos de rocas, limos, arenas, cantos, etc., estas se muestran a las orillas del río Coata, desde la confluencia de los ríos Cabanillas y Lampa. **Depósito aluvial.** - Es la unidad que predomina en el cuadrángulo de Juliaca y en el área de estudio, está constituida de estratos de arena limosa/arcillosa de color marrón, estratos de gravas polimícticas redondeadas a subredondeadas, estas se presentan con intercalaciones de arena gruesa a fina.



Figura 36. Vista SE-NW, donde se aprecia el río Coata aguas arriba de la desembocadura del río Torococha. Se visualiza el depósito fluvial del río Coata con sistema fluvial meándrico. Compuestos de sedimentos arenosos.

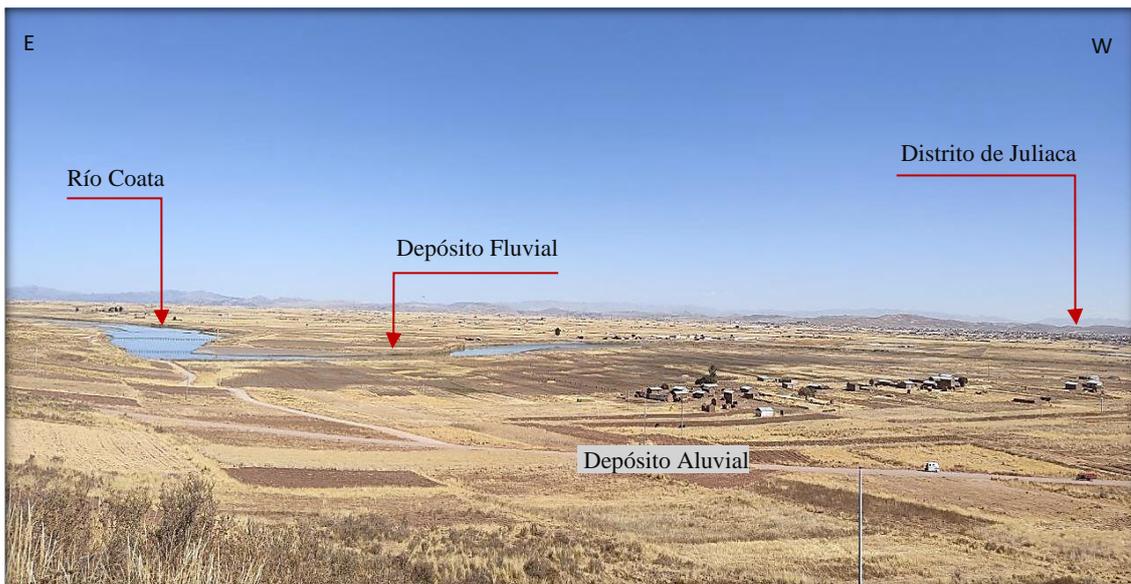


Figura 37. Vista E-W río Coata, aguas abajo de la zona de confluencia de los ríos Coata y Torococha. Se visualiza los depósitos cuaternarios: fluviales y aluviales.



4.6.2. Formación Azángaro (NQ-az)

La formación Azángaro perteneciente a la era cenozoico - sistema cuaternario - serie plioceno al pleistoceno, esta unidad estratigráfica se manifiesta en el sector central de la región de Puno, está relacionada a áreas con pendiente suave, fue descrita originalmente por Newell (1949) como “depósitos lacustres del río Azángaro”, Palacios et al., (1993) lo eleva al rango de “Formación Azángaro”. Esta formación esta superpuesta por depósitos fluvio-glaciares en el cuadrángulo de Juli, y aparentemente se interdigita con la Formación Taraco, en el cuadrángulo de Juliaca, donde se le ha determinado una edad plio-pleitocénica (Palacios et al., 1993). Presentado por limos, areniscas calcáreas y areniscas cuarzosas con estratificación cruzada. Su localidad tipo se ubica entre el cerro Alarcón y la laguna Lucha (Juliaca) Alcanza una potencia aproximada de 100 m (Acosta et al., 2011).

En el cuadrado Juliaca la formación está constituida por conglomerados polimíctico matriz soportado con intercalaciones de arenisca y lutitas grises.

4.6.3. Formación Tacaza (PN-t)

Perteneciente a la era cenozoico - sistema neógeno - serie mioceno, unidad descrita inicialmente por Jenks (1946), fue publicado formalmente por Newell (1949), consiste en una acumulación volcánica, son lavas andesíticas, tufos areno arcillosos y conglomerados con clastos, suprayaciendo en discordancia angular al grupo puno, e infrayaciendo a las ignimbritas del grupo palca (Palacios et al., 1993).

En el cuadrángulo de la ciudad de Juliaca al SW esta formación está constituida por lavas andesíticas, brechas polimícticas y niveles de areniscas y conglomerados.

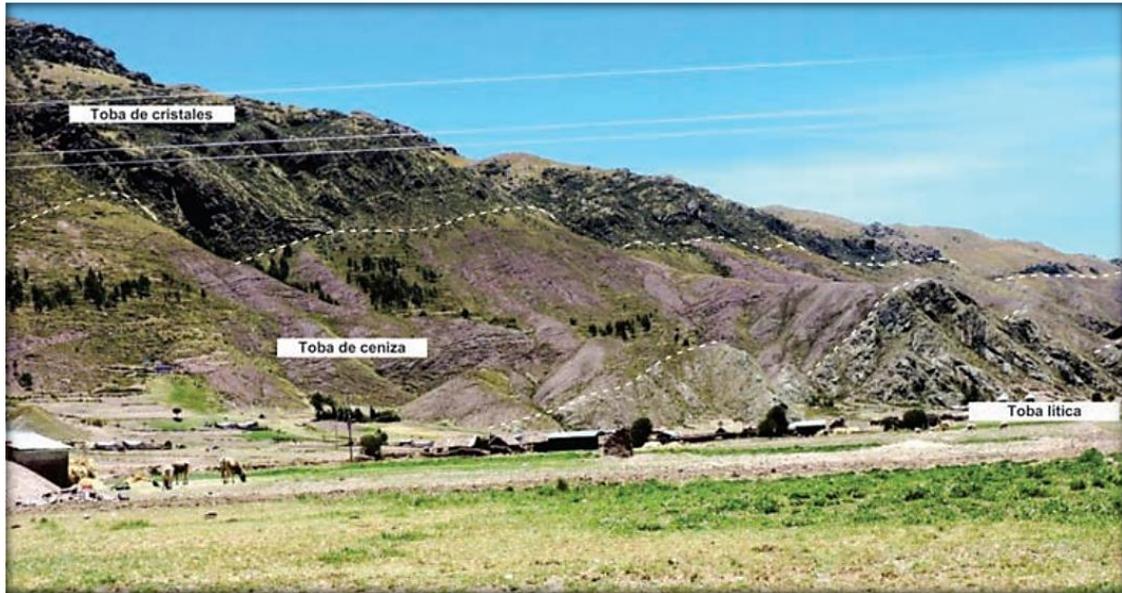


Figura 38. Afloramiento del Grupo Tacaza. Se muestra en la parte inferior las tobas líticas, en la parte media las tobas de cenizas y en la parte superior las tobas de cristales. Vista tomada hacia el este en la zona Tacahuati. Obtenida de “Geología del Cuadrángulo de Juliaca hoja 31v1, 31v2, 31v3, 31v4”, por Valdivia et al., (2021).

4.6.4. Formación Chucuito (P-chu)

Formación Chucuito perteneciente al grupo Puno. El término “Grupo Puno” es definido por Newell (1949) e incluye una gruesa acumulación de sedimentos arcósicos de facies continentales rojizos, mal clasificados, los cuales se acumularon en cuencas de subsidencias rápidas durante el cretáceo superior y el terciario. Este grupo consiste de arenas con conglomerados comunes, limolitas subordinadas, calizas y horizontes de tufos. Y los granos consisten de feldspatos potásicos y plagioclasa, se hallan parcialmente alterados a sericita o minerales de arcilla (Palacios et al., 1993).

La definición que realiza Rodríguez et al. (2020) es lo siguiente, Fm. Chucuito está compuesta por areniscas de grano grueso a fino de color rojo y conglomerados dispuestos a manera de lentes con clastos de naturaleza volcánica, areniscas y en menor proporción, intrusivos máficos y calizas especialmente al teco. Los clastos son subredondeados y tienen entre 1 y 20 cm de diámetro envuelto en una matriz arenosa

En el cuadrángulo de Juliaca y en la zona de estudio la formación Chucuito está constituida de areniscas rojas de grano medio a fino, presentan laminación oblicua e intercalación de conglomerados polimícticos con clastos subredondeados de (clastos de caliza, cuarcitas, areniscas rojas en matriz arenizcosa).

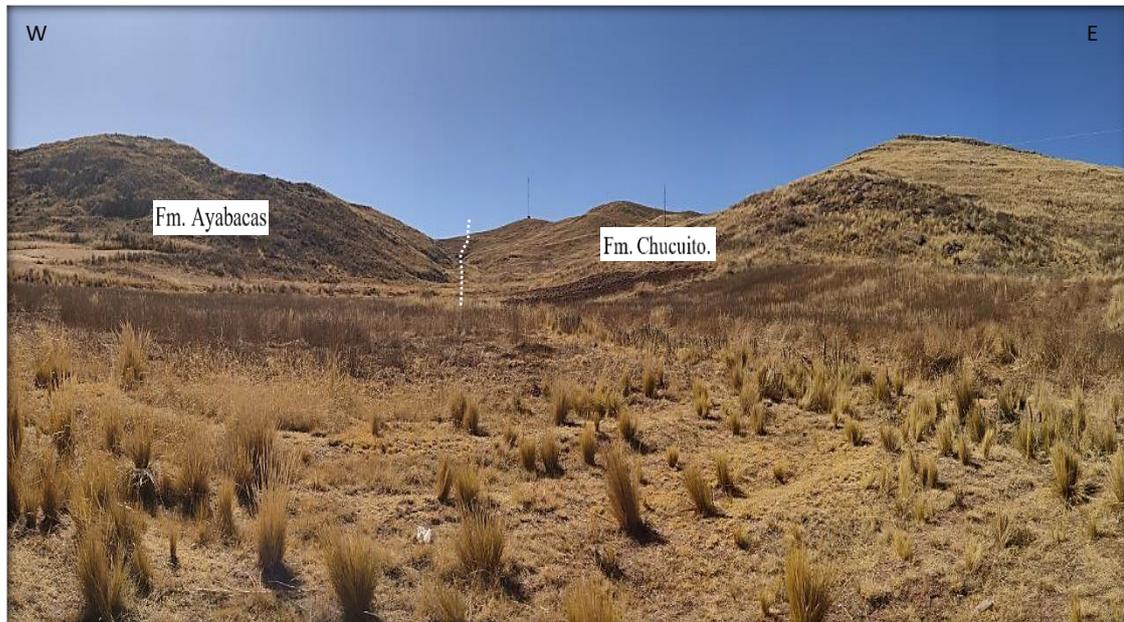


Figura 39. Afloramiento de la Fm. Ayabacas y Chucuito. Vista tomada hacia el norte en la zona de estudio al SE del puente Churi en la comunidad de Canchi Chico.



Figura 40. Vista NW-SE, en la comunidad de Canchi Chico. Se visualiza el afloramiento de la Formación Chucuito. Constituido de estratos de areniscas de grano grueso de color rojizo con canales de conglomerado polimíctico matriz soportado.

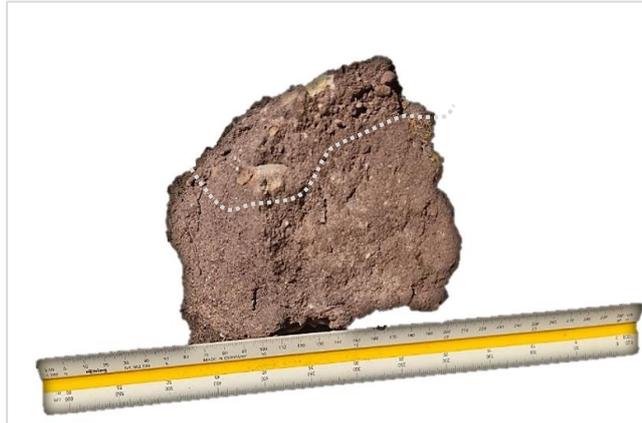


Figura 41. Muestra de mano arenisca y conglomerado de la Fm. Chucuito, E: 385826.82 - N: 8286462.7.

La muestra es de color rojizo, es una roca sedimentaria arenácea y clástica, el conglomerado presenta clastos polimícticos, posee fragmentos de caliza, andesitas, arenas. La matriz es arenisca.

4.6.5. Formación Ayabacas (Kis-ay)

Deriva su nombre de la localidad de Ayabacas en el cuadrángulo de Juliaca en la carretera Juliaca – Taraco (salida Huancané), Estudiada por primera vez, en la localidad de Ayabacas por Cabrera la Rosa y Petersen, (1936) para una secuencia de calizas y capas rojas, posteriormente, la unidad fue mapeada por Newell (1949), luego por Palacios et al., (1993) quienes le atribuyeron el rango de formación.

Según Palacios et al., (1993) hace la siguiente definición de la Fm. Ayabacas, están compuestas de lutita limolítica roja con caliza impura y muy masiva de color gris, con numerosos huecos tabulares intemperizada con una superficie muy áspera, la parte superior es azulina, caliza de grano fino, en bloques, estratificación regular, escasamente fosilífera.

En términos generales, la formación consiste de una matriz fangolítica rojas isotrópicas alrededor de bloques y escamas de caliza fallados y plegados, completamente, este ensamblaje caótico le da a la formación un rango fotogeológico altamente distinguible, por los bloques de caliza relativamente resistente con orientación irregular de tono pálido rodeados por fangolitas de tono oscuro (Palacios et al., 1993).

En la zona de estudio la formación Ayabacas eta constituida de estratos y bloques de caliza deformadas en una masa caótica de limolitas rojas.



Figura 42. Vista NW-SE (Vista al NE del Puente Churi) comunidad de Canchi Chico. Se visualiza la Formación Ayavacas alrededor del río Coata. Constituida estratos y de bloques de caliza deformadas y dispuestas caóticamente dentro de una matriz de limolitas rojas.



Figura 43. Muestra de mano de roca caliza de la Fm. Ayabacas E:385826.8 - N: 8286462.8

La muestra de mano obtenida de la Formación Ayabacas que aflora al rededor del río Coata en la comunidad de Canchi Chico (puente Suchis) está compuesta de rocas calizas de color gris.

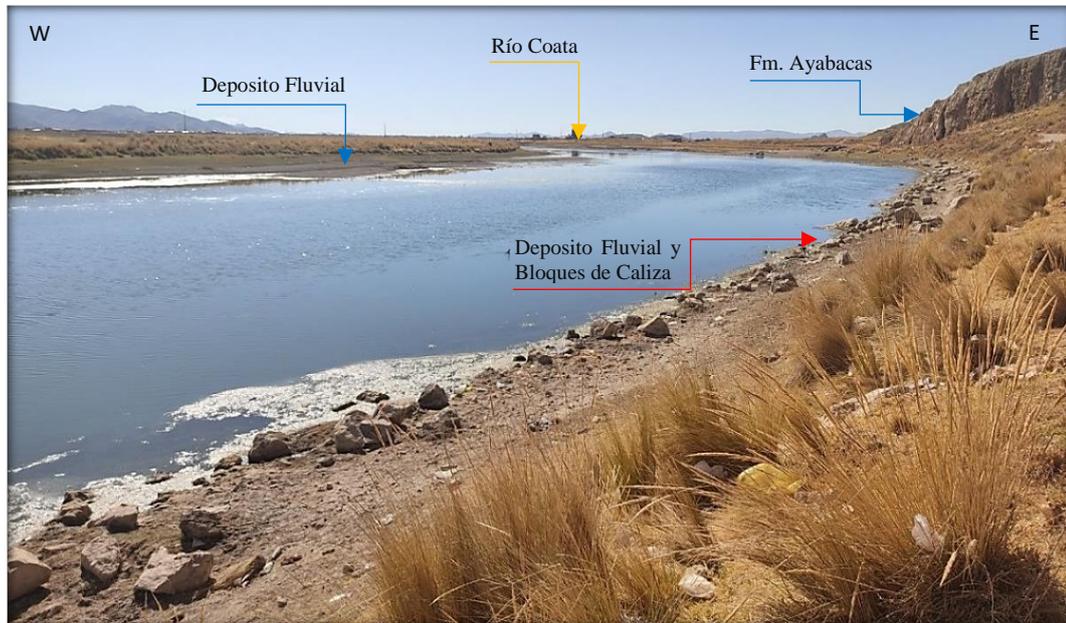


Figura 44. Vista W-E (vista al norte del puente Churi) se visualiza la Fm. Ayabacas y depósito cuaternario fluvial, donde se puede apreciar bloques de caliza en las orillas del río Coata, producto del desprendimiento del macizo rocoso de la Fm. Ayabacas.

4.6.6. Formación Huancané (Ki-hn)

Definida por Newell (1949), cerca del pueblo homónimo. La formación es dividida en tres unidades litológicas principales; conglomerados con estratificación de canal que generalmente yacen en la parte media de la secuencia, areniscas cuarzosas con estratificación cruzada con conjuntos asintóticos arreglados en unidades de 2 a 5 m. de grosor; areniscas lajosas con estratificación de canal con conjunto de menos de 2 m de grosor, la presencia de capas cruzadas es usada para determinar la polaridad de capas de la mayoría de las exposiciones (Palacios et al., 1993).

Los conglomerados contienen clastos bien redondeados de cuarcita blanca, gris y marrón, composición de venas de cuarzo hasta 3 cm de diámetro, las areniscas son de



grano medio a grueso, el cuarzo secundario como cemento tiene un efecto sobre las características debido a intemperismo: capas bien cementadas (Palacios et al., 1993).

En la hoja 31v1 la formación Huancané aflora al norte y noroeste de la laguna Arapa. Al norte, donde se tiene las mejores exposiciones. Litológicamente, está compuesta de areniscas Cuarzosas que varían de grano grueso a veces conglomeradas a areniscas de grano medio y limolitas. El arreglo arquitectural interno en las areniscas corresponde a laminaciones cruzadas, laminaciones oblicuas curvas y laminaciones paralelas. Las limolitas se presentan en laminas, son negras y se intercalan de manera aislada con las areniscas (Valdivia et al., 2021).

En zona se estudió esta unidad se constituye de areniscas blancas en estratos medios de 0.5 m. con intercalaciones de areniscas rojas con laminación oblicua de bajo ángulo.

4.6.7. Grupo Iscay (PE-i)

El nombre del grupo deriva del cerro Iscay Pucará, definido por Palacios et al. (1993) unidad ubicado en el cuadrángulo de Juliaca (31v), las mejores secciones están en los farallones de lado SO del cerro Iscay Pucará donde forman el flanco oeste de un sinclinal abierto con rumbo NO-SE. También son observados pequeños afloramientos delimitados por fallas, en la sección Lampa-Abra de Lampa, este grupo puede ser dividido aproximadamente en dos litologías principales: Una secuencia inferior de flujos de lava que producen un tono pálido y trazas de capamiento espaciado estrechamente sobre las fotografías aéreas, y una unidad superior tobácea que ocasiona tonos más pálidos, intemperizadas formado pináculos y trazas de estratificación fina y está cubierta por una vegetación espesa (Palacios et al., 1993).

En la parte noreste del cuadrángulo de Puno, en la hoja 32v1, al noreste de la ciudad de Juliaca, se presentan los afloramientos meridionales del Grupo Iscay, el cual sobreyace en discordancia angular al Grupo Ambo del Mississipiano e Infrayace de la misma manera a las formaciones Chupa de jurásico y Huancané del cretácico inferior. La litología que presenta Grupo Iscay está compuesta por tobas cristalolíticas con fiames y lavas andesíticas afaníticas fuertemente fracturadas. En el cerro Puntaca está conformada por tobas soldadas riolíticas de color rojizo (Rodríguez et al., 2020).

En el cuadrángulo de Juliaca al sur de la ciudad, en el cerro Monos la unidad del Grupo Iscay está constituida por tobas cristalolíticas y lavas andesíticas afaníticas fracturadas, y al SW de la ciudad de Juliaca en el cerro Puntaca esta unidad está conformada por tobas soldadas riolíticas de color rojizo.



Figura 45. Afloramiento de lavas del Grupo Iscay con fuerte fracturadas, vista tomada al sureste, ubicado en el cerro mono al sur de la ciudad de Juliaca. Tomado de “Geología del Cuadrángulo de Puno hoja 32v1, 32v2, 32v3, 32v4” (Rodríguez et al., 2020).

4.6.8. Grupo Ambo (CM-A/S)

Nombre aplicado originalmente por Newell et al. (1993). La edad del Grupo Ambo a nivel regional es atribuida al Mississipiano (Palacios et al., 1993).

Esta unidad aflora en El Carmen en el cuadrángulo de la hoja 32v1. Al sureste de la ciudad de Juliaca. En general, sobreyace en discordancia al Grupo Cabanillas e infrayace de igual forma al Grupo Iscay. La litología que presenta esta unidad en el Carmen y cerro Monos (Sur de la ciudad de Juliaca), este Grupo está constituido por una secuencia basal de Lutitas negras Caóticas que pueden presentar mica. **En la base de la secuencia**, se encuentran niveles de diamictitas que son característicos del Grupo Ambo y lo diferencian del Grupo Cabanillas. **La parte superior** está compuesta por areniscas cuarzosas blanco amarillento con laminaciones oblicuas que pueden sobrepasar los 200 m. de espesor (Rodríguez et al., 2020).



Figura 46. Se visualiza niveles de diamictitas en la base del Grupo Ambo en el cerro monos ubicado al sur de la ciudad de Juliaca (salida Arequipa). Obtenida de “Geología del Cuadrángulo de Puno hoja 32v1, 32v2, 32v3, 32v4”, por Rodríguez et al. (2020).

4.6.9. Grupo Cabanillas (D-ca)

El Grupo Cabanillas fue definido por Newell (1949). La edad del grupo Canillas pertenece al devónico (Palacios et al., 1993). Así mismo Palacios et al., (1993) describe a esta unidad de la siguiente manera: Lutitas grises con capas delgadas de areniscas cuarcíticas gris oliva con numerosos braquiópodos en capas de arenisca, tropidolephus sp, conularia sp; lutitas negras con menor cantidad de areniscas laminadas, concreciones de calizas ferruginosas con conularia sp; lutitas gris olivo oscuras, limosas y menor



cantidad de areniscas cuarcíticas lutíticas encubiertas en planos de estratificación con *taonurus* sp, cuarcitas argiláceas, verdosas de grano fino a medio con numerosos *Australospirifer* sp. en las capas inferiores.

En la hoja 31v1 cuadrángulo de Juliaca la litología del Grupo Cabanillas consiste en intercalaciones de lutitas y areniscas. Las lutitas son carbonosas, están laminadas, presentan icnofósiles, varían de color gris oscuro a negro y están dispuestas en niveles que varían de 0.10 a 0.40 m. de grosor. Las areniscas son cuarzosas de color gris a blanquecinas, varían de grano medio a fino y están dispuestas en estratos que varían de 0.15 a 0.30m. de grosor. Estas presentaciones laminaciones cruzadas afectadas por slump y estructuras tipo flaser, la alternancia y variación de la granulometría, arreglo arquitectural interno de las capas y los restos fósiles indican un ambiente marino de medio sublitoral (Valdivia et al., 2021).

4.6.10. Formación Calapuja (O-ca)

La formación Calapuja deriva su nombre del pueblo Calapuja en el cuadrángulo de Juliaca. Al SSE de Calapuja según la descripción de Palacios et al., (1993) está formada de la siguiente forma; Lutitas arenosas con una docena de intercalaciones gruesas (500 – 100 m) de cuarcitas masivas, blancas y a veces rojizas, areniscas finas y limolitas poco estratificadas y muy alteradas, conteniendo nódulos con trilobites, en la parte superior de estas areniscas se encuentra una fauna bien representativa compuesta de trilobites, crinoideos, briozoarios, gasterópodos, lamelibranquios y pelecípodos, lutitas grises con delgadas, intercalaciones de areniscas en la base y numerosas concreciones dolomíticas de areniscas en la base y numerosas concreciones dolomíticas con pelecípodos, arenisca en capas gruesas (Palacios et al., 1993).



Las características litológicas y posición estratigráfica permiten dividir la Formación Calapuja en dos miembros: miembro San Sebastián y miembro Chacas. En general los afloramientos tienen rumbo NO-SE o buzamientos varían de moderados a altos y en la zona no se observa la relación de contacto con la unidad infrayacente (Valdivia et al., 2021).

Miembro San Sebastián, en la hoja 31v2, las mejores exposiciones se observa entre las localidades de San Sebastián, San Jerónimo, Calapuja, puente Maravilla, laguna Chacas, alrededor del cerro Canhuanra, litológicamente está constituida por secuencias de areniscas grises de grano fino intercaladas con limolitas grises a verdes con fragmentos fósiles y en niveles que varían de centímetros a métricos, y contiene niveles de cuarzoarenitas blanquecinas en estratos que pueden alcanzar hasta 1 m de espesor y en conjunto presenta secuencias estrato-decreciente (Valdivia et al., 2021).

Miembro Chacas, en la hoja 31v2 esta unidad aflora al noroeste de la ciudad de Juliaca, entre el borde este de la laguna Chacas y el sureste de la quebrada Chagrapi. El miembro Chacas consiste en una potente secuencia de lutitas gris verdosas, con algunos niveles de óxidos y nódulos fosilíferos, intercalados con niveles de areniscas (subarcosas) grises a gris verdosas. Esta secuencia se caracteriza por contener restos fósiles bien preservados de crinoideos, gasterópodos, pelecípodos y trilobites (Valdivia et al., 2021).

En el cuadrángulo de Juliaca de la Formación Calapuja, aflora el miembro San Sebastián: Constituida de areniscas cuarzosas en niveles medianos a delgadas areniscas gris verdosas intercaladas con limolitas verdosas.

Tabla 9. Columna estratigráfica del cuadrángulo de Juliaca (zona de estudio) a escala regional.

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	GROSOR mts	UNIDADES LITOSTRATIGRÁFICAS			
				UNIDAD	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA		
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO		Q-la	Depósitos Lacustre	Conglomerados policíclicos envueltos en una matriz de arena y limos.	
				Qh-co	Depósito Coluvial	Arenas y gravas heterométricas producto del desprendimiento de los macizos rocosos y depositado al pie de taludes.	
				Q-fl	Depósito Fluvial	Fragmentos rocosos heterométricos compuesto de (arena, cantos, bolos, etc.)	
				Q-al	Depósito Aluvial	Está constituida de arena limosa mal graduada y gravas polimícticas, redondeadas a subredondeadas.	
		PLEISTOCENO PLIOCENO	200	NQ-az	Formación Azángaro	Conglomerados polimíctico matriz soportado con intercalaciones de arenisca y lutitas grises.	
		NEÓGENO	200	PN-t	Formación Tacaza	Constituida por lavas andesíticas, brechas polimícticas y niveles de areniscas y conglomerados.	
		PALEÓGENO	500	P-chu	Formación Chucuito	Está constituida de areniscas rojas de grano medio a fino, presentan laminación oblicua e intercalaciones de conglomerados con clastos subredondeadas de composición volcánica (Caliza, Andesitas, Arenas; la matriz es arenisca)	
	MESOZOICO	CRETÁCICO	INFERIOR	500	Kis-ay	Formación Ayabacas	Constituida de bloques y estratos de calizas plegados en una masa caótica de lutitas rojas.
				>350	Ki-hua	Formación Huancané	Areniscas blancas en estratos, intercalaciones de areniscas rojas con laminación oblicua.
	PALEOZOICO	PÉRMICO		>300	PE-i	Grupo Iscay	Cerro Monos constituida de Tobas cristalolíticas y lavas andesíticas afaníticas fuertemente fracturadas, en el Cerro Puntaca está conformado por tobas soldadas riolíticas de color rojizo.
>200				Cm-a/s	Grupo Ambo (Cm-a)	Miembro Superior	Constituido de areniscas cuarzosas de color blanco amarillento, grano grueso.
>100		Cm-a/i	Miembro Inferior	Constituido por una secuencia basal de Lutitas negras Caóticas. En el cerro Monos en la base de la secuencia, se encuentran niveles de dinamititas que son característicos del Grupo Ambo.			
DEVÓNICO		INFERIOR	>400	D-ca	Grupo Cabanillas	Conformado de lutitas de color gris en estratos delgados con intercalaciones de Areniscas cuarzosas finas de color gris.	
ORDOVÍCICO		MEDIO		O-ca	Formación Calapuja	Miembro San Sebastián Constituida de areniscas cuarzosas en niveles medianos a delgados, areniscas gris verdosas intercaladas con limolitas verdosas.	

Fuente: Elaboración propia.



4.8. ORIGEN DE LA CUENCA DEL RÍO COATA

La cuenca del río Coata está formada por 09 subcuencas: Cuenca Cerillos, Cuenca Verde, Alto Coata, Medio Alto Coata, Medio Coata, Cuenca Cotaña, Medio Bajo Coata, Cuenca Lampa y Bajo Coata.

Subcuenca Bajo Coata, conformado por los ríos Cabanillas y Lampa, estas a su vez se originan por la confluencia de los ríos Verde – Cerrillos y Vilavila – Palca. Son los principales aportantes del río Coata, cuyas aguas desembocan al lago Titicaca.

Cuenca del río Cabanillas: En sus inicios este río está conformado por las siguientes subcuencas. Subcuenca Alto Coata conformado: Por el río Paratía, confluye al río Verde, afluente del río Cabanillas. Cuenca Verde conformado por: Río Jarpaña, esta nace con el río Quillisane y desemboca en el río Verde. Subcuenca medio Alto Coata, Conformado por el curso principal, río Verde, el cual recorre hasta la confluencia con el río Cabanillas. Subcuenca Cerrillos, en esta subcuenca se ubica el río Ichocollo y la laguna lagunillas, estas descargan sus aguas en el río Cerrillos, y esta desemboca en el río Cabanillas. Subcuenca e intercuenca del Medio Coata, está conformada por el río principal Cabanillas, en este tramo confluyen los ríos Andamarca, Compuerta y Chacalaya, y desembocan en el río Cabanillas. Subcuenca Cotaña, naciente en el río Cuchuchune y en la quebrada Copane, durante su recorrido del río Cotaña confluyen en él los ríos Huntaña y Vizcachani, y desembocando en el río Cabanillas. Subcuenca Medio Bajo Coata, el río principal es el río Cabanillas, abarcando la mayor longitud de este río, en cuyo trascurso se encuentran las bocatomas Cabana – Mañazo, Yocara y Yanarico.



Figura 49. Vista de la parte alta de la cuenca, se presenta explotación de recursos mineros, así misma presencia de manantiales y fuentes de agua que se presentan, estas dan origen y que mantienen en forma permanente el escurrimiento de los cauces principales de la cuenca del río Coata. Tomado de “Evaluación de los Recursos Hídricos en las Cuencas de los Ríos Cabanillas y Lampa”, Por INRENA, (2007).

Como ya mencionado el río Cabanillas se origina por la confluencia de los ríos Cerrillos y Verde. El río Cerrillos es de régimen regular por la existencia de la presa lagunillas, ya que este río es el efluente del embalse Lagunillas y su principal afluente de este río sería el río Ichocollo. En sus inicios este río recibe los nombres de Orduña y Borracho. Por otro lado, el río Verde se forma por la unión de los ríos Paratía y Jarpaña, que en su nacimiento toma el nombre de Quillisani.

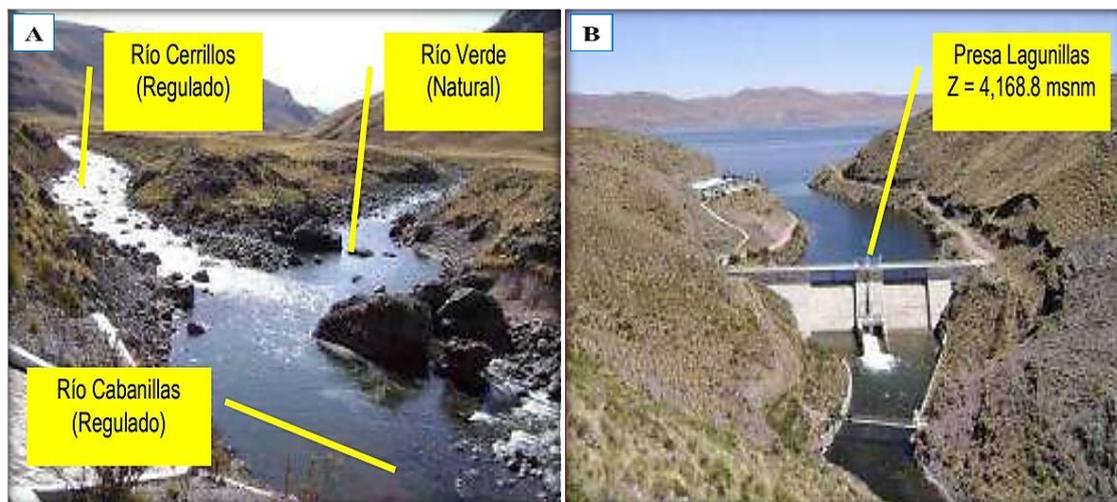


Figura 50. Vista de la parte media de la cuenca, **A)** Se observa la formación del río cabanillas por la confluencia de los ríos Cerrillos y Verde. **B)** Presa lagunillas, para uso agrícola y pluvial. Tomado de “Evaluación de los Recursos Hídricos en las Cuencas de los Ríos Cabanillas y Lampa”, Por INRENA, (2007).

Cuenca del río Lampa: Esta subcuenca está conformado por los ríos Vilavila, Palca y Lampa. Esta subcuenca nace en la parte alta del río Vilavila. 84 km de su recorrido, toma el nombre de río Palca, durante su trayectoria confluye con los ríos y quebradas que aportan caudales, uno de ellos es el río Pumahuasi, la quebrada Collpahuaijo, Antalla y los ríos Barranco y Cachinane. El río Palca, 60 km aguas abajo de su trayectoria, recibe el nombre de río Lampa, durante su recorrido recibe caudales de los ríos Quisca y Culillaca, a su paso de esta subcuenca Lampa se encuentra las lagunas Livichaco y Colorada.



Figura 51. Vista de la parte alta de la cuenca del río Lampa. En donde se presenta nevados y pequeñas lagunas en sus nacientes de esta cuenca. Tomado de “Evaluación de los Recursos Hídricos en las Cuencas de los Ríos Cabanillas y Lampa”, Por INRENA, (2007).



Figura 52. Vista del río Coata en las coordenadas UTM: N:8289963.6 - E: 381364.1 – Z: 3866 “puente independencia”. La fotografía fue tomada en tiempo de avenida en la fecha 02/03/22. Como se puede observar el caudal del río es más fuerte y presenta turbidez.

La confluencia de los ríos Cabanillas y Lampa dan origen a la cuenca del río Coata. En su recorrido para desembocar al lago Titicaca, esta cuenca pasa por el distrito de Juliaca y Caracoto. Durante su paso recibe aguas de desagüe y residuos sólidos de la ciudad de Juliaca.



Figura 53. Río Coata, fotografía tomada en tiempo de avenida. 20/02/2022. En las coordenadas UTM: N: 8285593 - E: 385069. Parte baja de la cuenca, aproximadamente 200 m de la zona de vertimiento del río Torococha. Presenta aguas turbias, está ya sea por disolución de arcilla o suspensión de los materiales sólidos.



Figura 54. Vista del río Coata, fotografía tomada en época de estiaje. En las fechas 05/05/2022. En las coordenadas UTM: N:8286565.7 - E:385161.4. Parte baja de la cuenca en el puente Churi, donde presenta un caudal moderado y agua moderadamente clara.

4.8.1. Contaminación de la cuenca del río Coata

La cuenca del río Coata es contaminada por diferentes fuentes existentes en el ámbito como: Vertimiento de aguas residuales industriales, provenientes de lavaderos de carros y de camal. Vertimiento de aguas residuales municipales el cual son provenientes

de la ciudad de Lampa, centro urbano de Palca, centro Urbano San Cirilo de Chullunquiani, pueblo Vilavila, centro urbano Paratía, ciudad de Cabanillas, centro urbano Cabanilla y aguas residuales de la EPS SEDA – Juliaca. Vertimiento de aguas de mina provenientes de pasivos ambientales mineros, principales minas que contaminan la cuenca del río Coata. La unidad minera el Cofre – CIEMSA (consorcio de ingenieros ejecutores mineros S.A) ubicada en el distrito de Paratía, provincia de Lampa, departamento de Puno, que contamina al río Paratía el cual desemboca al río Verde, para luego descargar en el río Cabanillas. Por otro lado, la minas Palca que está ubicado en el distrito de Palca, provincia de Lampa del departamento de Puno, contamina a los ríos de Chila Pampa – Vilavila y este río durante su recorrido de 84 km, toma el nombre de río Palca, 60 km aguas abajo de su trayectoria, toma el nombre de río Lampa, que al juntarse con el río Cabanillas se da el origen del río Coata que finalmente desagua en el lago Titicaca.

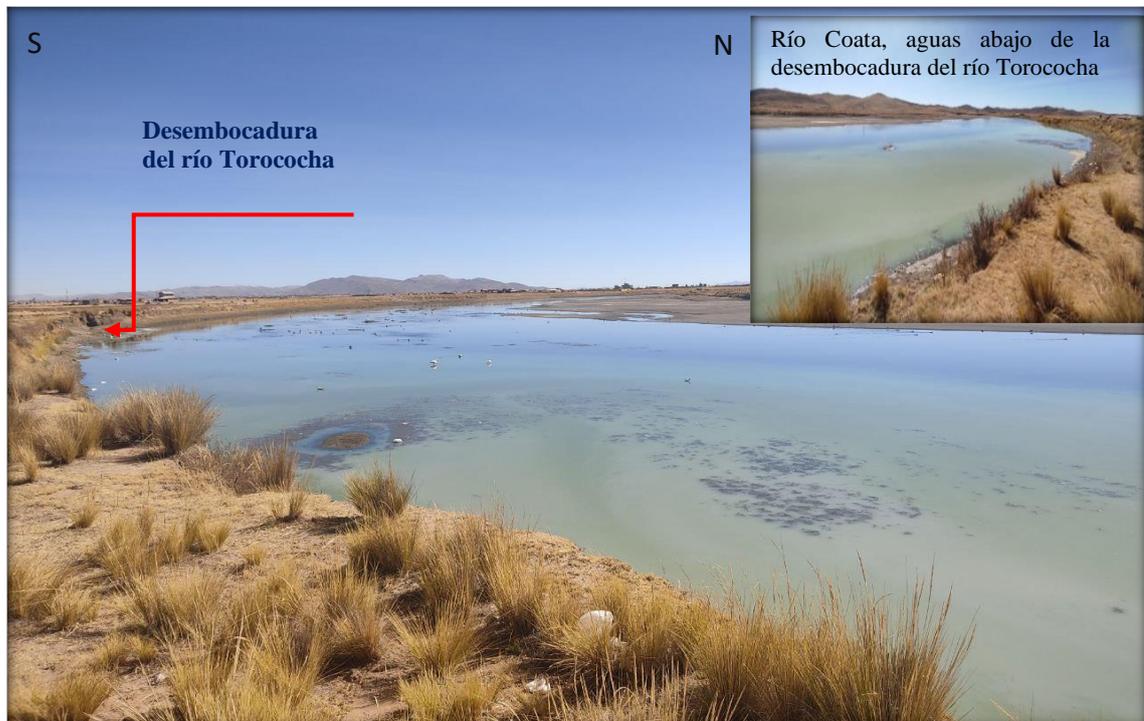


Figura 55. Vista del río Coata en la desembocadura del río Torococha. Coordenadas UTM: N: 8285359 – E: 385378. Donde se aprecia la zona del vertimiento del río Torococha en el río Coata. Se ve la contaminación que ocasiona las aguas del río Torococha.



Figura 56. La población del distrito de Caracoto y Juliaca, hacen uso el agua del río Coata para el lavado de carros, ropa y para otras actividades. A) Foto tomada en el puente Churi. B) Figura tomada en la estación de muestreo CoatM5.

4.9. ORIGEN DEL RÍO TOROCOCHA

El río Torococha nace en las faldas del cerro Chullunquiani, donde se presenta la existencia de ojos de agua de forma permanente, este corriente de agua atraviesa por el intermedio de la ciudad de Juliaca, estas aguas y sus contaminantes son vertidas en el río Coata, el cual finalmente desagua en el lago Titicaca contaminando directamente.

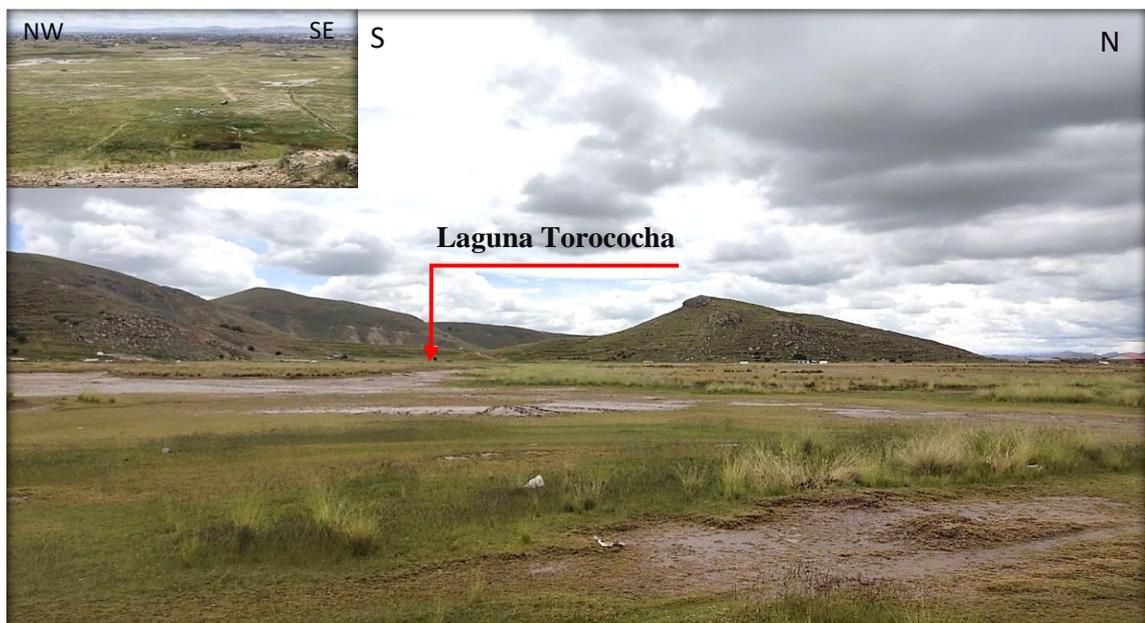


Figura 57. Vista al oeste del lugar desde donde nace el río Torococha (faldas del cerro Chullunquiani). En este punto donde existe ojos de agua en forma permanente y en época de fuertes precipitaciones pluviales se saturan y originan la laguna Torococha donde nace el río con el mismo nombre.



Figura 58. Vista del origen del río Torococha. **A)** Acumulación de agua producto de las fuertes precipitaciones pluviales. **B)** Río Torococha ingresando a la ciudad de Juliaca. En las coordenadas UTM. N: 8286423 – E: 374612 – Z: 3838. Fecha 20/02/2022.

En su nacimiento del río Torococha, la superficie es absolutamente irregular por ello en época de fuertes precipitaciones pluviales existe acumulación de aguas en zonas de baja topografía y estas aguas acumuladas llegan al cauce del río Torococha. Como se presenta en la figura 58.



Figura 59. Vista del río Torococha “zona urbana” en la Urb. San Julián (salida Arequipa) parte oeste de la ciudad de Juliaca. Por donde recorre el río y posteriormente ingresando al centro de la ciudad. Coordenadas UTM. N: 8235316 – E: 375285 – Z: 3845. Fecha 20/02/2022.



Figura 60. Vista del puente San Isidro, "centro de la ciudad de Juliaca", por donde recorre el río Torococha. Fotografía tomada en las coordenadas UTM. N: 8286616 – E: 379869. Fecha 20/02/2022.



Figura 61. Vista de la desembocadura del río Torococha. A) Río Torococha aproximadamente a 150 metros aguas arriba de la desembocadura de este río. B) Se muestra el ingreso de las aguas del río Torococha al río Coata. Fotografías tomadas en época de avenida, fecha 20/02/2022. En las coordenadas UTM. N: 8285338 – E: 385165.

4.9.1. Contaminación del río Torococha

El río Torococha por los años 60, era un cauce de agua limpia y cristalina donde existía vida acuática y salud, porque los pobladores aledaños de esa época acudían a este río para pescar, bañarse e incluso utilizaban este recurso para el consumo humano y de sus animales. A medida que ha transcurrido los años el crecimiento desmesurado de la

población, las propias necesidades que ello implica. Se fue deteriorando el cauce del río por causa del vertimiento de aguas producto de la laguna de oxidación de Juliaca, vertimiento de aguas servidas de las viviendas colindantes al río, contaminación con residuos sólido como: residuos aprovechables, no aprovechables, peligrosos y orgánicos. Esta contaminación se genera por los pobladores que no cuentan con el servicio de acopio de los residuos sólidos orgánicos e inorgánicos de parte de la municipalidad y así misma falta de educación ambiental por parte de la ciudadanía.

Hoy en día el río Torococha se ha convertido en una fuente de contaminación biológica y visual, el cual se ha convertido en un problema social, ya que genera diversos problemas a la ciudadanía juliaqueña, no solo a los residentes que viven a las riberas del río. Incluso la contaminación afecta a sectores de la comunidad campesinas de Canchi Chico, Chanchi Grande y Suchis del distrito de Caracoto, y a los pobladores de la comunidad campesina del distrito de Coata que viven aguas abajo de la zona de confluencia de los ríos Coata y Torococha, en las riberas de la cuenca del río Coata.



Figura 62. Vista de la existencia de letrina a la orilla del río Torococha. En las coordenadas UTM. N: 8286423 – E: 374612 – Z: 3838. Fecha 20/02/202.



Figura 63. Vista de la colmatación del río ya sea con material orgánico e inorgánico, “zona urbana” en la Urb. San Julián (salida Arequipa) parte oeste de la ciudad de Juliaca. Por donde recorre el río y posteriormente hace el ingreso al centro de la ciudad. Fotografía tomada en las coordenadas UTM. **A)** N: 8286232 – E: 375991. **B)** N: 8286537 – E: 375149. Fecha 20/02/2022, en época de fuerte precipitación pluvial.



Figura 64. Vista de la interrupción del río Torococha con la lotización de terreno en pleno cauce, de esta forma es interrumpido el flujo natural existente. N: 8286423 – E: 374612.



Figura 65. Se muestra en las figuras, parte oeste de la ciudad de Juliaca, de cómo la población aledaña al río depositan residuos sólidos ya sean estas orgánicas o inorgánicas en medio del cauce, generando contaminación a estas aguas.



Figura 66. Vista del río Torococha aproximadamente a 200 metros antes del vertimiento en el río Coata. Se puede apreciar la turbidez y sólidos suspendidos en el agua e ingresa con todos sus contaminantes al río Coata. E: 385060 – N: 8285202. Fotografía captada en época de estiaje. 26/06/2022.



Figura 67. Vista de la zona de confluencia de los ríos Coata y Torococha. Se aprecia la contaminación que realiza el río Torococha al ingresar al río Coata. Coordenadas UTM: N: 8285359 – E: 385378. Fotografía captada en época de estiaje. 26/06/2022.

4.9.2. Caudal de los ríos

Los datos emitidos de la estación Pte. Coata – Unocolla, indican que el caudal que presento el río Coata en época de avenida en los años 2021 y 2022 un promedio histórico que presenta es 91.92 m³/s. y en época de estiaje presenta un promedio histórico de 6.64 m³/s. Mientras que el aporte que realiza el río Torococha con el vertimiento de las aguas es con 0.1041667 m³/s.

Con ello indicamos que el río Torococha esta contaminando al cuerpo receptor, con vertimiento de 9000 m³/día con agua contaminada (aguas residuales) provenientes de la ciudad de Juliaca.

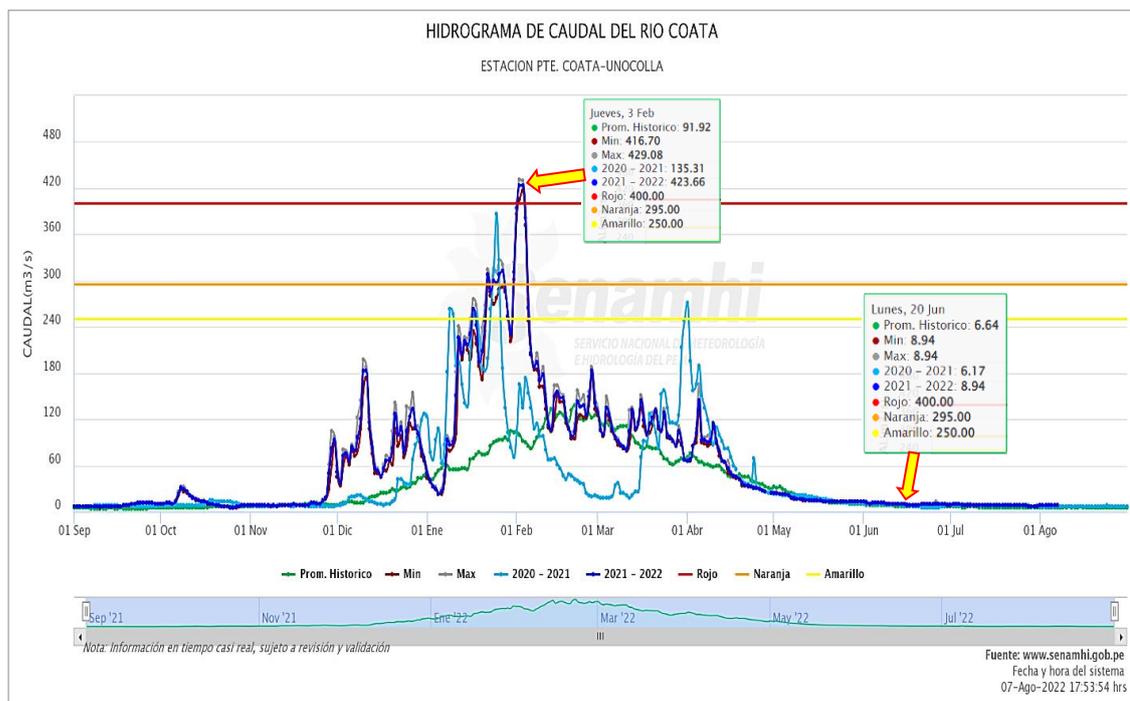


Figura 68. Presentación del hidrograma de caudal del río Coata del año 2021 hasta agosto del 2022

Fuente: www.senamhi.gob.pe

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. CONCENTRACIÓN DE LOS PRINCIPALES PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DE LAS AGUAS SUPERFICIALES DE LOS RÍOS COATA Y TOROCOCHA

5.1.1. Ubicación de las estaciones de muestreo

En la tabla 11, se indica la ubicación de las estaciones de muestreo de las aguas superficiales de los ríos Coata y Torococha.

Tabla 11. Ubicación de las estaciones de muestreo en las aguas de los ríos Coata y Torococha.

FECHA	MUESTRA	COORDENADAS UTM			UBICACIÓN	OBSERVACIÓN
		ESTE	NORTE	COTA		
18-06-2021 y 26-06-2022	TorcM1	382814	8287060	3831	Río Torococha	Aproximadamente 3 km aguas arriba del vertimiento en el río Coata
	TorcM2	385060	8285202	3826	Río Torococha	A 200 m aguas arriba del vertimiento en el río Coata
	CoatM3	385378	8285359	3824	Río Coata	A 200 m aguas abajo del vertimiento del río Torococha
	CoatM4	385069	8285593	3824	Río Coata	A 50 m aguas arriba del vertimiento del río Torococha
	CoatM5	385295	8286638	3822	Río Coata	A 50 m aguas arriba del puente Churi.

5.1.2. Concentración de los principales parámetros físicoquímicos de las aguas de los ríos Coata y Torococha.

En la tabla 12, se observan los resultados obtenidos de datos físicoquímicos del primer (1er) monitoreo que se realizó en la fecha 18-06-2021. Los datos de los principales parámetros físicoquímicos que se obtuvo en campo (in-situ) de cada estación de muestreo,

para ello se utilizó el equipo multiparámetro portátil HQ40D de Hach. Siguiendo los parámetros obtenidos: Temperatura (T°), potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (CE) y oxígeno disuelto (OD).

Tabla 12. Resultados de la obtención de datos de los principales parámetros fisicoquímicos del primer (1er) monitoreo in-situ de los ríos Coata y Torococha.

Parámetros Fisicoquímicos	Unidad	ESTACIONES DE MONITOREO				
		TorcM1	TorcM2	CoatM3	CoatM4	CoatM5
T°	°C	12.50	11.81	11.42	10.83	10.50
pH		7.94	8.01	8	8.39	7.91
CE	μS/cm	2355	2398	1831	1376	1257
OD	mg/l	0.31	1.45	2.91	7.5	10.98

En la tabla 13, se indican los resultados obtenidos de los parámetros fisicoquímicos del segundo (2do) monitoreo realizado en la fecha 26-06-2022. Para la obtención de los datos fisicoquímicos de cada estación de monitoreo, se utilizó en esta ocasión el multiparámetro Hanna HI 9829. Siguiendo los parámetros obtenidos: Temperatura (T°), potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (CE), oxígeno disuelto (OD) y sólidos disueltos totales (TDS).

Tabla 13. Resultados de la obtención de datos de los principales parámetros fisicoquímicos del segundo (2do) monitoreo in-situ de los ríos Coata y Torococha.

Parámetros Fisicoquímicos	Unidad	ESTACIONES DE MONITOREO				
		TorcM1	TorcM2	CoatM3	CoatM4	CoatM5
T°	°C	10.72	10.4	11.11	10.64	10.12
pH		7.58	7.94	8.14	8.35	7.77
CE	μS/cm	2450	2500	1880	1237	1233
OD	mg/l	2.9	3.15	3.46	5.34	7.83
TDS	mg/l	1222	1248	941	620	617



Así mismo, en la tabla 14, se muestra los resultados emitidos del laboratorio de aguas INIA – PUNO, del segundo (2do) monitoreo. La tabla contiene información sobre las características físicas y químicas que se obtuvieron en el laboratorio, de las muestras obtenidas de cada estación de muestreo de la intercesión de los ríos Coata y Torococha. Siguiendo parámetros obtenidos: potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (CE), Ca, Mg, K, Na, Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , HCO_3^- y NO_3^- . Los parámetros obtenidos tanto en campo como en laboratorio se utilizarán para saber la calidad de estas aguas y así mismo para el modelamiento geoquímico.

Tabla 14. Resultados de los parámetros fisicoquímicos obtenidos del segundo (2do) monitoreo de los ríos Coata y Torococha, emitido del laboratorio de las aguas del INIA - PUNO.

PARÁMETROS	UNIDAD	ESTACIONES DE MONITOREO				
		TorcM1	TorcM2	CoatM3	CoatM4	CoatM5
pH		7.920	7.892	7.652	7.936	7.858
CE	mS/m	239.0	241.1	159.9	127.2	121.6
-	-	-	-	-	-	-
Tipo de Agua	--	Dura	Dura	Dura	Semidura	Dura
Ca	mg/l	94.18	80.16	70.14	48.09	56.11
Mg	mg/l	55.93	59.58	49.85	42.56	52.28
K	mg/l	8.60	8.21	9.77	11.33	9.38
Na	mg/l	12.19	11.96	10.58	9.20	9.20
Cl ⁻	mg/l	429.06	329.77	273.04	276.58	280.13
SO ₄ ⁻²	mg/l	55.71	159.93	60.03	36.02	36.02
CO ₃ ⁻²	mg/l	0.00	7.80	0.00	0.00	0.00
HCO ₃ ⁻	mg/l	32.94	61.01	24.40	20.74	12.20
NO ₃ ⁻	mg/l	409.20	458.80	260.40	31.00	24.80

5.1.2.1. Temperatura (T°)

Tabla 15 y figura 69, se presentan las temperaturas resultantes tanto del 1er y 2do monitoreo realizado, varía de 10.12 °C – 12.50 °C. La temperatura del agua influye en la química de este elemento y en las funciones de los organismos acuáticos ya sea está en la velocidad de los procesos fisiológicos de los organismos que estas provocan alteraciones de su metabolismo. Por lo tanto, este parámetro puede incidir mucho en la calidad del agua.

Tabla 15. Resultado de la medición del parámetro solidos disueltos totales del agua. Datos obtenidos in-situ.

Estación de Monitoreo	Unidad	1er Monitoreo (in-situ)	2do Monitoreo (in-situ)
TorcM1	°C	12.50	10.72
TorcM2	°C	11.81	10.40
CoatM3	°C	11.41	11.11
CoatM4	°C	10.83	10.64
CoatM5	°C	10.50	10.12

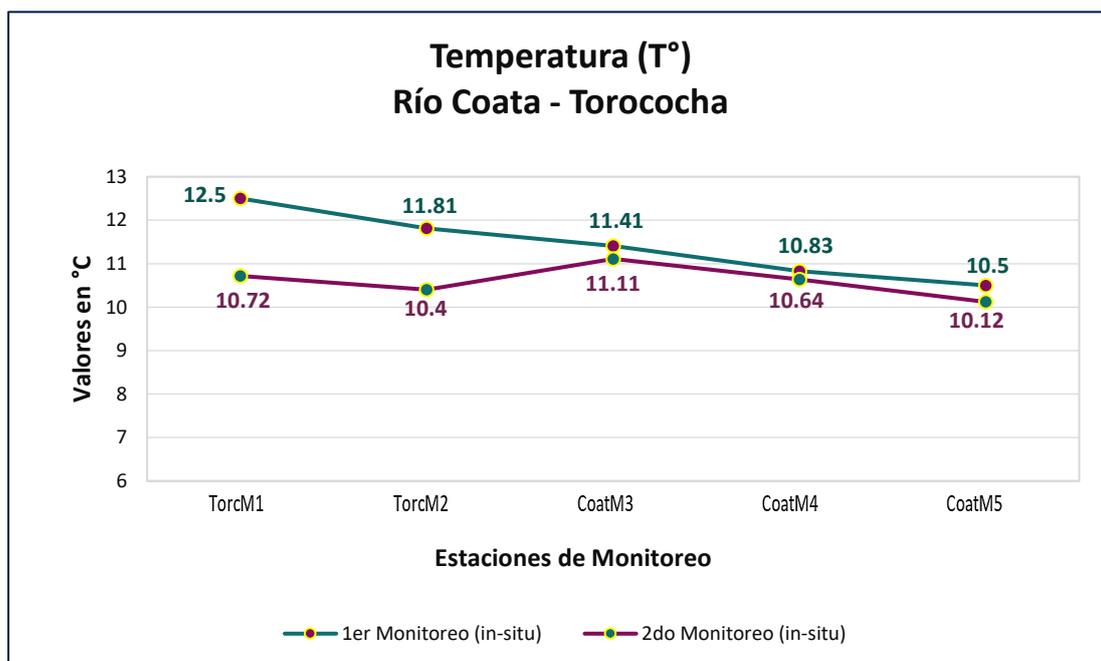


Figura 69. Comportamiento de la temperatura en época de estiaje junio del 2021 y 2022.

5.1.2.2. Conductividad eléctrica (CE)

En la tabla 16 y figura 70, se indican los resultados de la obtención de datos de la CE del 1er y 2do monitoreo, tanto en in-situ como en el laboratorio. La conductividad eléctrica que presentan las muestras TorcM1, TorcM2 ubicado en el río Torococha y CoatM3 ubicado en el río Coata, a 200 m aguas abajo de la confluencia de los ríos. Estos puntos de muestreo poseen la conductividad más alta de las estaciones de muestreo tanto en el 1er y 2do monitoreo, lo que nos indica que comprenden un elevado contenido de sales, iones disueltos y material orgánico disuelta, consecuencia del vertimiento de aguas servidas y acumulación de residuos sólidos en el cauce del río Torococha.

Tabla 16. Resultado de la medición de la conductividad eléctrica del agua. Tanto in-situ como en el laboratorio.

Estación de Monitoreo	Unidad	1er Monitoreo (in-situ)	2do Monitoreo (in-situ)	2do Monitoreo (laboratorio)
TorcM1	μS/cm	2355	2450	2390
TorcM2	μS/cm	2398	2500	2411
CoatM3	μS/cm	1831	1880	1599
CoatM4	μS/cm	1376	1237	1272
CoatM5	μS/cm	1257	1233	1216

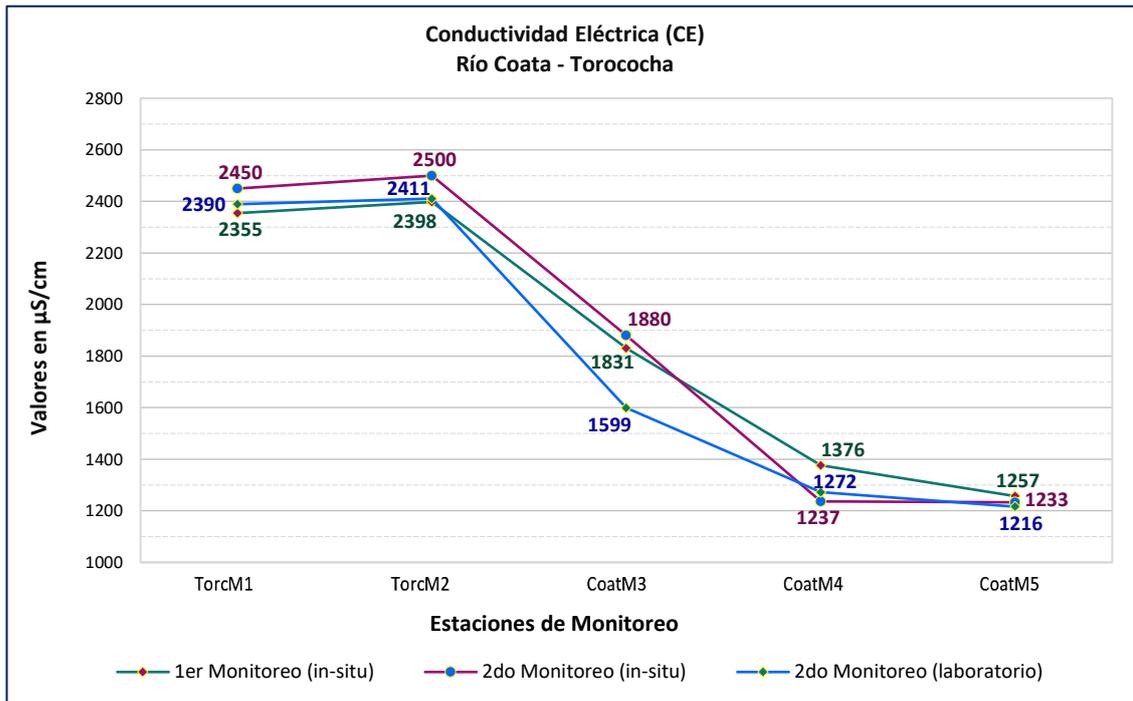


Figura 70. Concentraciones de la CE en época de estiaje, junio del 2021 y 2022

La conductividad eléctrica nos proporciona la información de la cantidad de sólidos disueltos existentes y por lo tanto tomamos como indicador de cuál de los dos ríos y de las estaciones de monitoreo es más afectado a la contaminación. Según los resultados obtenidos en la presente investigación, los puntos más críticos son TorcM1, TorcM2 y CoatM3. Donde podemos indicar que el río Torococha contamina con este parámetro al río Coata.

Así mismo, Capacoila, (2017) en su trabajo de investigación de la cuenca baja del río Coata, las concentraciones encontradas en la desembocadura del río Torococha es de 1680 $\mu\text{S}/\text{cm}$ correspondiente a época de estiaje y en época de avenida obtuvo resultados en este mismo punto 380 $\mu\text{S}/\text{cm}$. También Gutierrez, (2018) indica en su investigación realizada en la desembocadura del río Torococha. Las concentraciones de CE a 200 m aguas abajo de la desembocadura se presenta con 1306 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el mes de setiembre, 1397 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el mes de octubre y 1493 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el mes de noviembre.

Mientras en nuestros resultados obtenidos en los dos monitoreos realizados, en la estación CoatM3 ubicado 200 m aguas abajo del vertimiento del río Torococha en el río Coata se obtuvo 1831 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 1880 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 1599 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En donde podemos decir que las concentraciones de CE, para este punto va aumentando a medida que transcurre los años.

5.1.2.3. Potencial de hidrógeno (pH)

En la tabla 17 y figura 71, se muestran los resultados obtenidos del pH del 1er y 2do monitoreo. En el 1er monitoreo realizado los datos del parámetro pH obtenidos en campo muestran que estas aguas tanto del río Coata como Torococha tienen pH entre 7.8 a 8.39. En el 2do monitoreo los resultados obtenidos tanto de campo como laboratorio de las 05 estaciones, el pH de los puntos de monitoreo las aguas son consideradas ligeramente alcalinas. De esta forma se puede confirmar que las aguas del área de estudio tienden a ser básicas o alcalinas.

El pH entre 7.8 a 8.39 en la zona de estudio se debe al vertimiento de aguas residuales municipales, provenientes de lavaderos de carros y de aguas servidas colindantes al río Coata y Torococha.

Tabla 17. Resultados obtenidos tanto in-situ como en laboratorio de la medición del pH del agua.

Estación de Monitoreo	1er Monitoreo (in-situ)	2do Monitoreo (in-situ)	2do Monitoreo (laboratorio)
TorcM1	7.94	7.58	7.920
TorcM2	8.01	7.94	7.892
CoatM3	8.00	8.14	7.652
CoatM4	8.39	8.35	7.936
CoatM5	7.91	7.77	7.858

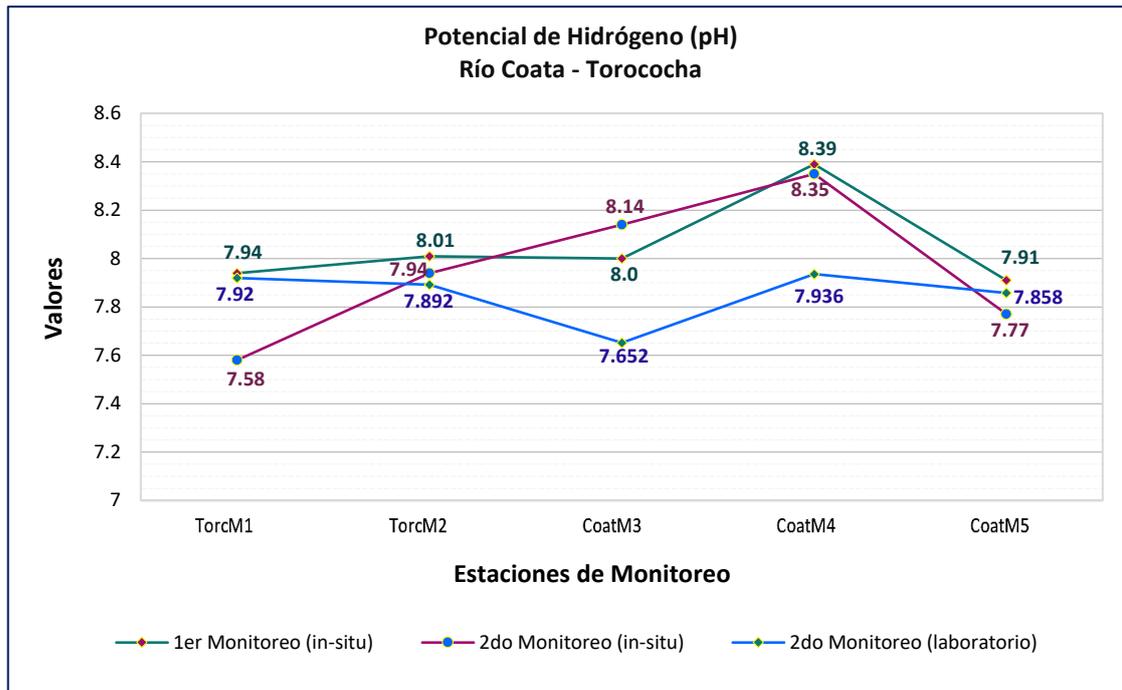


Figura 71. Concentraciones del pH en época de estiaje, junio del 2021 y 2022

Las concentraciones obtenidos en sus resultados de Gutierrez, (2018) en su estación M1 (50 m aguas arriba de la desembocadura) presenta 8.25 y M2 (200 m aguas abajo de la desembocadura) tiene un valor de 7.87 datos obtenidos en mes de setiembre. Por otro lado Inquilla, (2020) en su investigación de la calidad del agua del río Coata en la muestra PM1 situado en la desembocadura del río Torococha contiene 7.50 dato obtenido en el mes de julio. Así mismo Coila, (2022) en su investigación “evaluación de la calidad del agua en la confluencia de los ríos Torococha y Coata”, donde presenta concentraciones de pH 8.00. También por parte Capacoila, (2017) en su investigación en el río Coata, obtuvo resultados en época de estiaje los siguientes valores P-1 (7.31), P-2 (7.60), P-3 (8.30), P-4 (8.80) y P-5 (8.80).

En nuestros resultados obtenidos respecto al pH en el río Coata, en la muestra CoatM3 presenta los siguientes valores 8.00, 8.14 y 7.652, CoatM4 (8.39, 8.35 y 7.936) y el punto CoatM5 con valores (7.91, 7.77 y 7.858), donde podemos indicar que no presentan variaciones significativas con los antecedentes.

5.1.2.4. Oxígeno disuelto (OD)

En la tabla 18 y figura 72, se muestran los resultados de los datos obtenidos del parámetro oxígeno disuelto del 1er y 2do monitoreo. Tanto in-situ como en laboratorio. El oxígeno disuelto en las estaciones de monitoreo TorcM1, TorcM2 ubicados en el río Torococha y CoatM3 ubicado en el río Coata, a 200 metros aguas abajo de la confluencia de los ríos, presentan baja concentración de oxígeno disuelto en el agua. Esta concentración se debe a la poca difusión del aire del entorno, bajo caudal del río, contenido de microorganismos, bacterias y materia orgánica. Las cantidades bajas de oxígeno disuelto que presenta las estaciones de monitoreo mencionado, en estos puntos son perjudiciales para el crecimiento y reproducción de la biota acuática. Sin embargo, en las muestras CoatM4 y CoatM5 ubicados en el río Coata, la concentración de oxígeno no es bajo, esto se debe al caudal del río y la fotosíntesis de las plantas o de las algas acuáticas existentes en el río.

El nivel de concentración del oxígeno disuelto es un indicador de la contaminación del agua.

Tabla 18. Resultados obtenidos de la medición del oxígeno disuelto del agua. obtenido tanto in-situ como en el laboratorio.

Estación de Monitoreo	Unidad	1er Monitoreo (in-situ)	2do Monitoreo (in-situ)
TorcM1	mg/L	0.31	2.9
TorcM2	mg/L	1.45	3.15
CoatM3	mg/L	2.91	3.46
CoatM4	mg/L	7.5	5.34
CoatM5	mg/L	10.98	7.83

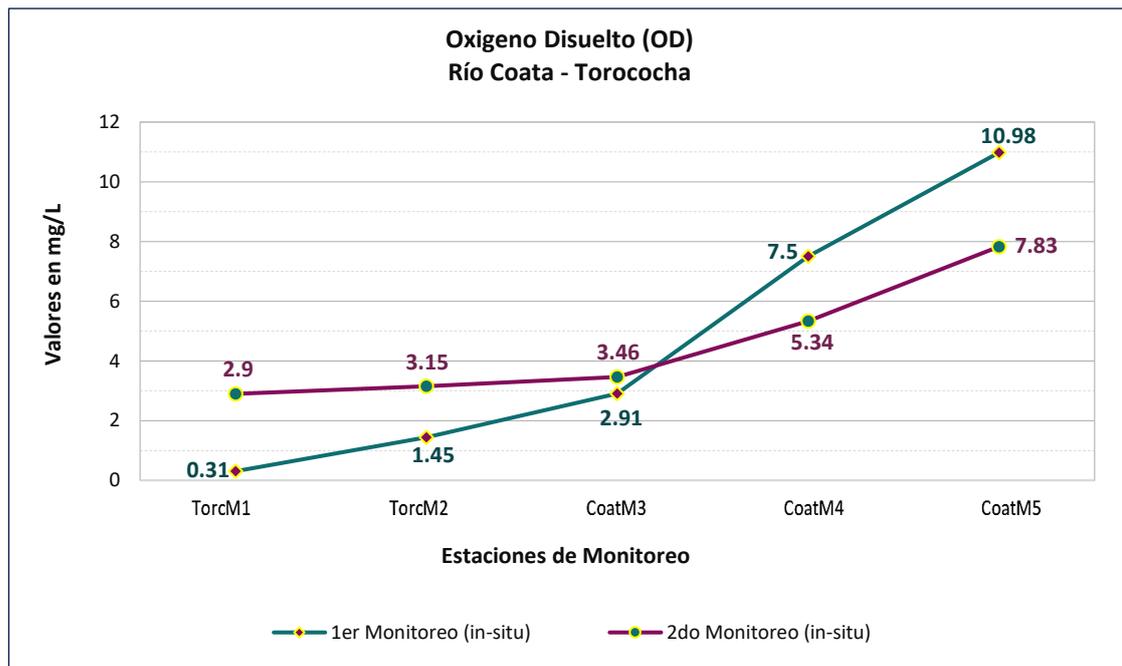


Figura 72. Concentraciones del oxígeno disuelto en época de estiaje, junio del 2021 y 2022

Según Gutierrez, (2018) en su investigación en la desembocadura del río Torococha en el río Coata, concentraciones encontradas para el parámetro OD en la M1 (4.22) ubicado 50 metros aguas arriba de la desembocadura y M2 (2.91) 200 m aguas abajo de la desembocadura - fecha Setiembre.

Mientras los resultados que se obtuvo en el trabajo de investigación en los monitoreos realizados en estos puntos son: 1er monitoreo CoatM3 (2.91) a 200 m aguas abajo de la confluencia de los ríos - CoatM4 (7.5) 50 metros aguas arriba de la confluencia y resultado del 2do monitoreo CoatM3 (3.46) y CoatM4 (5.34). En comparación con el antecedente mencionado no varía significativamente las concentraciones en los puntos de monitoreo mencionadas del río Coata.

5.1.2.5. Sólidos disueltos totales (TDS)

Tabla 19 y figura 73, se muestran los resultados de los datos obtenidos del parámetro TDS del 2do monitoreo. Obtención de datos in-situ. Los puntos de monitoreo

TorcM1 y TorcM2 que están ubicados en el río Torococha presentan elevada composición de sólidos disueltos totales, lo cual demuestra que la composición elevada de materia disuelta en las aguas del río Torococha. Sin embargo, la estación CoatM3 ubicado en el río Coata, en el cual baja su composición de TDS producto de la mezcla de aguas tanto del río Coata y Torococha, por lo tanto, en las estaciones CoatM4 y CoatM5 situados en el río Coata presenta TDS moderado para estas aguas.

Tabla 19. Resultado de la medición del parámetro sólidos disueltos totales del agua. Datos obtenidos en in-situ.

Estación de Monitoreo	Unidad	2do Monitoreo (in-situ)
TorcM1	mg/L	1222
TorcM2	mg/L	1248
CoatM3	mg/L	941
CoatM4	mg/L	620
CoatM5	mg/L	617

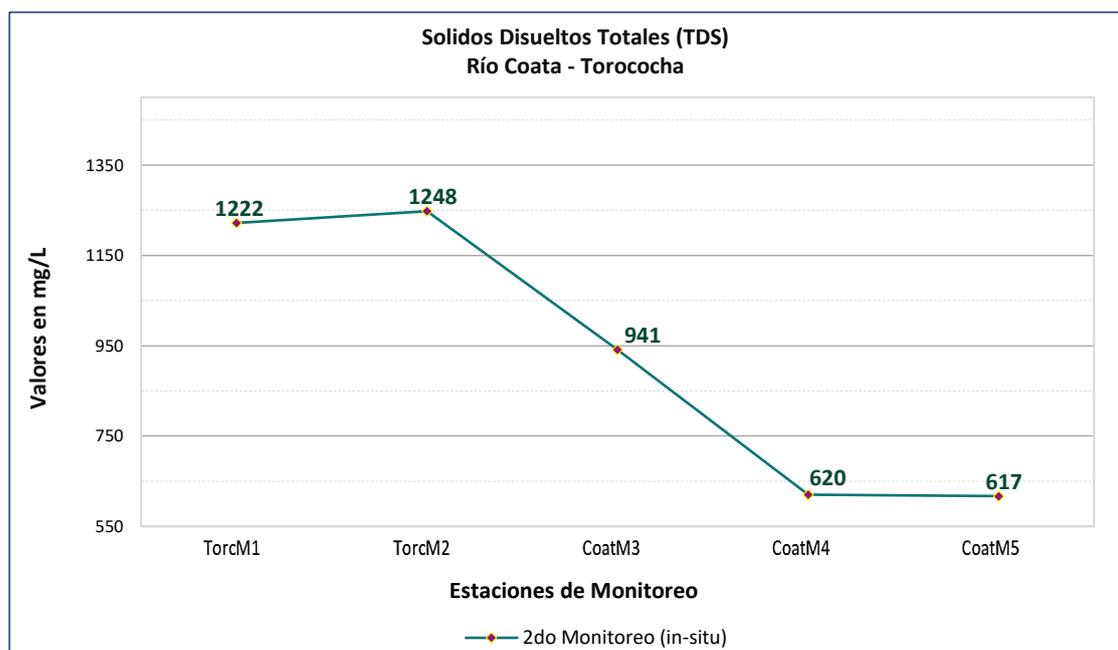


Figura 73. Concentraciones del TDS en época de estiaje, junio del 2022.



Por otro lado, Inquilla, (2020) en su investigación según los muestreos realizados en el río Coata, obtuvo un promedio de 568 mg/L en la confluencia de los ríos: 309.67 mg/L en la comunidad de Lluco – Almozanche y con un promedio de 336.33 mg/L en la zona del vertimiento del río Coata a lago Titicaca, datos obtenidos durante los meses de mayo, junio y julio del 2019. Los resultados obtenidos en el trabajo de investigación, en época de estiaje junio - 2022 en el área del vertimiento del río Torococha a 200 m aguas abajo se obtuvo un valor de 941 mg/L en donde se puede indicar que las concentraciones en este punto según el antecedente mencionado, se tiene un aumento de concentración para este parámetro.

5.2. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DEL AGUA E IDENTIFICACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE METALES PESADOS (Al, As, Cd, Cr, Fe, Hg, Mn, Pb y Zn) DE LOS RÍOS COATA Y TOROCOCHA.

La geoquímica de las aguas varía su comportamiento químico de acuerdo a la zona, en donde influyen los agentes geológicos externos y así mismo la intervención antropogénica, los cuales controlan la composición química de las aguas.

5.2.1. Caracterización química de las aguas superficiales de los ríos Coata y Torococha.

Para realizar una clasificación de estas aguas, se determinó el contenido de Ca, Mg, K, Na, Cl⁻, SO₄⁻², CO₃⁻², HCO₃⁻, NO₃⁻, pH, TDS y la conductividad eléctrica ya que con este parámetro podemos saber la salinidad de las aguas. Este parámetro afecta la calidad tanto del agua potable o de riego, así como la biota acuática, las sales pueden provenir directamente de rocas que estén en contacto con los cursos de agua o de elevadas cantidades de fertilizantes, afectando negativamente en el crecimiento de los cultivos.

5.2.1.1. Diagrama de Piper

Las concentraciones de los principales iones “cationes y aniones” nos permiten clasificar el agua de los ríos Coata y Torococha de la zona de estudio en dos (02) composiciones.

Río Torococha

De acuerdo al diagrama de Piper, figura 74, se observa la predominancia de los iones Cl, Ca, Mg y presencia de concentración de SO₄ en la muestra TorcM2. De acuerdo a ello podemos decir que la muestra TorcM1 es de composición “clorurada cálcica magnésica” y la muestra TorcM2 presenta un carácter “clorurada y/o sulfatada cálcica

magnésica. Si bien estas aguas del río Torococha presentan una leve tendencia a ser más cálcicos desde el punto de vista catiónico.

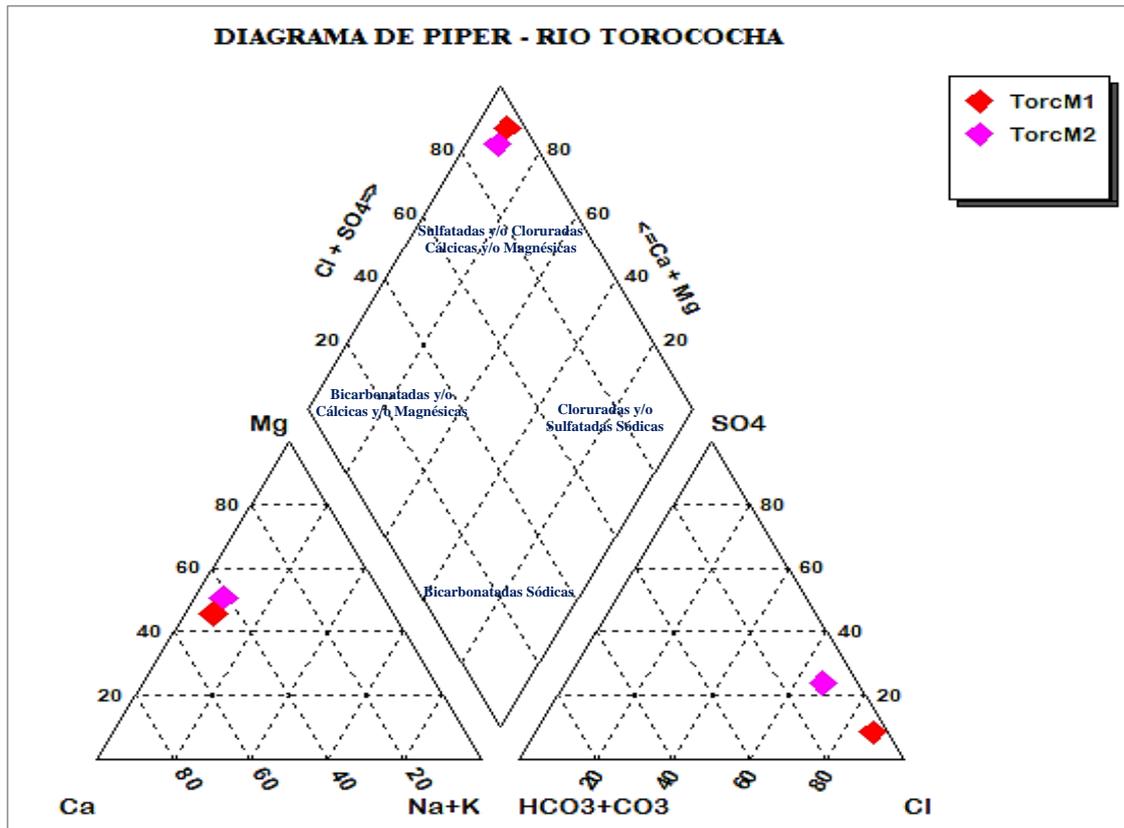


Figura 74. Presentación del diagrama de Piper con las estaciones de monitoreo ploteadas del río Torococha.

Río Coata

De acuerdo al diagrama de Piper, figura 75, se observa la predominancia de los iones Cl, Ca, Mg. Según a ello podemos decir que las muestras CoatM3, CoatM4 y CoatM5 del río Coata la composición es “clorurada cálcica magnésica”.

La muestra CoatM3, presentan una leve tendencia a ser más cálcico desde el punto de vista catiónico, se debe a que esta estación recibe las aguas del río Torococha el cual tiene una composición mayor tanto en los cationes de Ca y Mg y así mismo en aniones Cl y SO₄ con respecto a esta estación, por ende, las aguas del río Torococha influye en la composición de los iones en la zona del vertimiento de estas aguas en el río Coata.

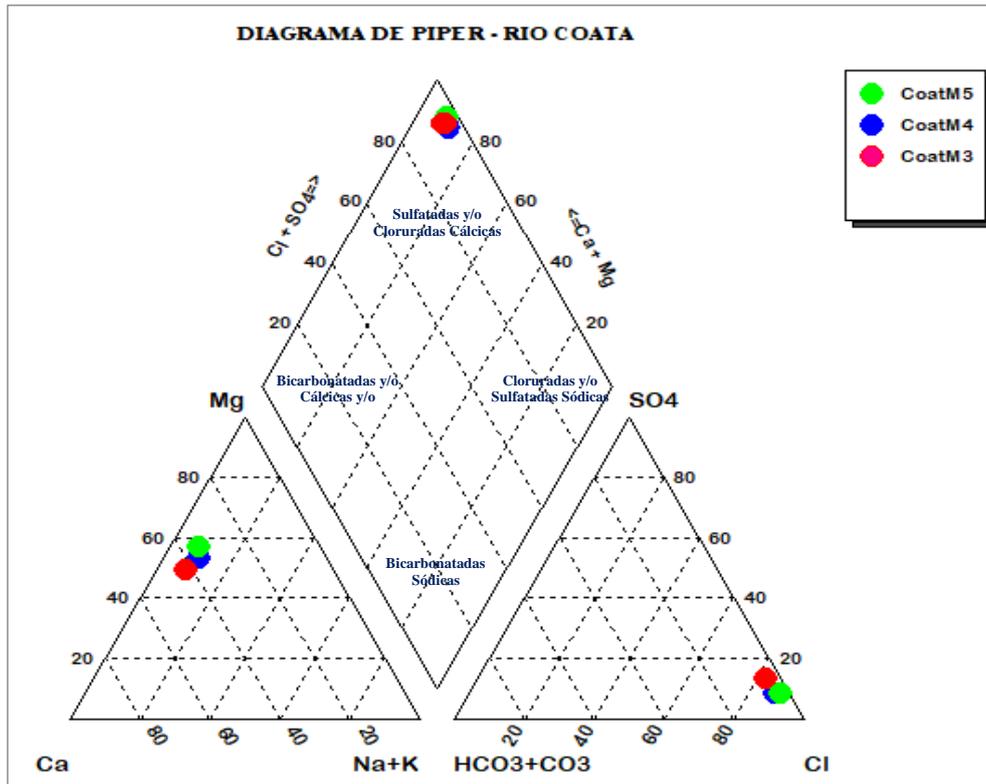


Figura 75. Presentación del diagrama de Piper con las estaciones de monitoreo ploteadas del río Coata.

5.2.1.2. Diagrama de Stiff

En la figura 76 y 77, se muestran los diagramas de Stiff de cada estación de muestreo, se puede observar el predominio de los aniones cloruro y sulfato, así como los cationes calcio y magnesio en los cuerpos de aguas superficiales de los ríos Coata y Torococha. Concordantes con las figuras del diagrama de Piper de ambos ríos. Se prosigue a describir los diagramas de Stiff de cada estación de muestreo por ríos.

Río Torococha

En la figura 76, se presentan las muestras TorcM1 y TorcM2 pertenecientes al río Torococha, poseen una alta concentración de aniones de cloruros, cationes de Calcio y magnesio y presentan concentraciones de sulfato en la muestra TorcM2. La estación TorcM1 posee en aniones 12.086 meq/L de Cl, 1.161 meq/L de SO₄ y en cationes 4.709

meq/L de Ca, 4.603 meq/L de Mg. Mientras la muestra TorcM2 posee en aniones 9.289 meq/L de Cl, 3.332 meq/L de SO₄ y en cationes 4.008 meq/L de Ca, 4.904 meq/L de Mg.

De acuerdo a los resultados se indica que en la muestra TorcM1 predominan los iones Cl, Ca y Mg. Por otro lado, en el punto TorcM2 predominan los iones Cl, SO₄, Ca y Mg. Resultado de las concentraciones elevadas de Cl en la zona, se debe a la contaminación del agua por vertimientos de aguas residuales (municipal, industrial, comercial, agrícola, domésticos etc.) provenientes de la ciudad de Juliaca y de algunos sectores del distrito de Caracoto que están ubicados en la zona de estudio. La concentración de SO₄ en el lugar son consecuencias de los desechos y vertimientos industriales.

Las aguas del río Torococha son clasificadas de tipo de agua dura, este tipo de aguas comúnmente presentan elevadas concentraciones de cationes Ca y Mg y así mismo se caracteriza en presentar ausencia de cationes Na + K. Efectivamente lo mencionado se aplica en las aguas del río Torococha.

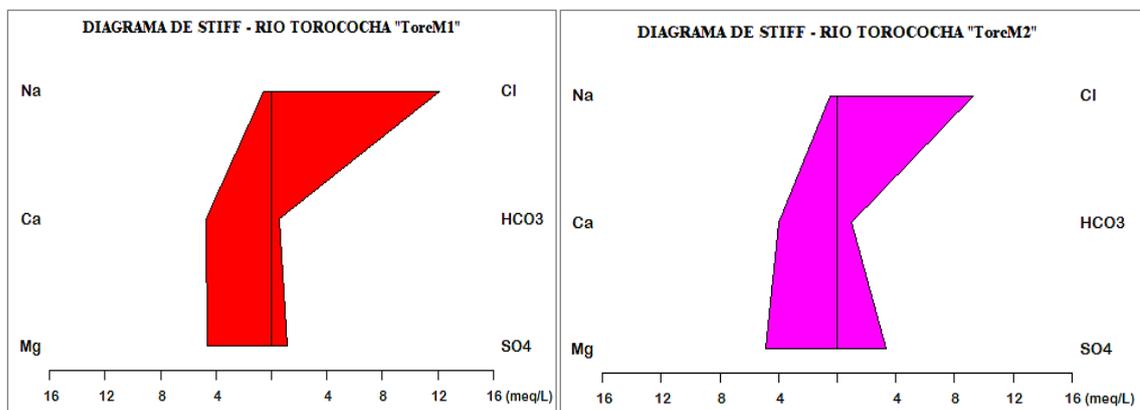


Figura 76. Diagrama de Stiff presenta las concentraciones de los iones de las estaciones muestreadas del río Torococha en la época de estiaje - junio 2022.

Río Coata

Figura 77, presenta las muestras CoatM3, CoatM4 y CoatM5 pertenecientes al río Coata.



La estación de muestreo CoatM3 ubicado a 200 m aguas abajo de la confluencia de estos ríos, predominan las concentraciones de iones Cl, Ca, Mg y cantidades bajas de SO₄, cantidades en aniones 7.691 meq/L de Cl, 1.251 meq/L de SO₄ y en cationes 3.507 meq/L de Ca, 4.103 meq/L de Mg. Resultado de las concentraciones elevadas de Cl y una mínima concentración de SO₄ así mismo cantidades de cationes de calcio y magnesio se debe a que esta estación recibe las aguas del río Torococha el cual tiene una composición mayor tanto en los cationes de Ca y Mg y así mismo en aniones Cl y SO₄, por ende, estas aguas de la estación CoatM3 son influenciadas en su composición de iones por las aguas del río Torococha.

Las muestras CoatM4 y CoatM5 cuales no son influenciados con las aguas del río Torococha, CoatM4 posee en aniones 7.791 meq/L de Cl, 0.750 meq/L de SO₄ y en cationes 2.405 meq/L de Ca, 3.503 meq/L de Mg. Mientras la muestra CoatM5 posee en aniones 7.891 meq/L de Cl, 0.750 meq/L de SO₄ y en cationes 2.614 meq/L de Ca, 4.303 meq/L de Mg. Según las concentraciones de iones en ambos puntos nos indica la predominancia del anión Cl y cationes Ca y Mg.

Las concentraciones de SO₄ en la estación CoatM3 son inferiores a las concentraciones que presenta el río Torococha en el punto TorcM2 y así mismo las aguas del río Coata en los puntos CoatM4 y CoatM5 presentan concentraciones inferiores a la estación CoatM3. Lo cual nos indica que las concentraciones de SO₄ que contiene el río Torococha, estaría contaminando con este parámetro al río receptor (río Coata).

Las aguas del río Coata, la muestra CoatM3 y CoatM5 son clasificadas de tipo de agua dura, con excepción la muestra CoatM4 es de tipo de agua semidura, por ende, estas aguas presentan elevadas concentraciones de cationes Ca y Mg y así mismo se muestra

ausencia de cationes de Na + K, estas características químicas que presentan son comunes en aguas duras.

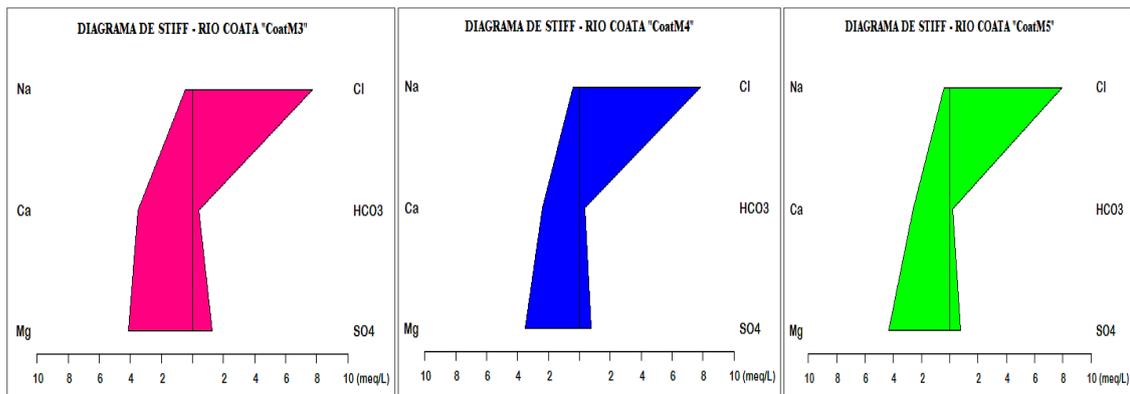


Figura 77. Diagrama de Stiff presenta las concentraciones de los iones de las estaciones muestreadas del río Coata en la época de estiaje - junio 2022

5.2.1.3. Diagrama de Schoeller

De acuerdo a los diagramas de Piper se distinguen dos (02) tipos de aguas en la zona de estudio, la clasificación realizada se corrobora con el diagrama de Stiff y Schoeller Berkaloff.

Río Torococha

En la figura 78, se muestran las concentraciones de los iones Na, K, Ca, Mg, Cl, SO_4 y HCO_3 en donde el diagrama Schoeller nos indica a simple vista que existe dos tipos de aguas por el contenido de Cl y SO_4 podemos clasificar que las muestras de agua del río Torococha presentan alto contenido de salinidad, la diferencia es la abundancia del elemento que posee la muestra TorcM1 con respecto a la TorcM2, esto debido a la contaminación del agua por vertimientos de aguas residuales provenientes de la ciudad de Juliaca, mientras la muestra TorcM2 presenta concentraciones mayores de SO_4 que la muestra TorcM1, normalmente los sulfuros se encuentran en el agua de forma natural, producto del lavado y la disolución parcial de formaciones del terreno por el cual discurren, ya sea por rocas sulfuradas o formaciones rocosas compuestas de yeso,

productos de oxidación de sulfatos etc. en este caso en la zona de investigación las concentraciones de SO_4 se presentan por acumulación de residuos y vertimiento de aguas industriales proveniente de la ciudad de Juliaca y de algunos sectores del distrito de Caracoto que están ubicados en la zona de estudio, en la estación TorcM2 que se ubica 200 m antes de desembocar en el cuerpo receptor, en este punto se acumulan las aguas y por tanto aumenta las concentraciones de SO_4 . Se corrobora el diagrama de Piper con el diagrama de Schoeller, con respecto a los cationes, efectivamente las muestras TorcM1 y TorcM2 aguas del río Torococha tiende a ser más cálcicas, producto del vertimiento de las aguas residuales.

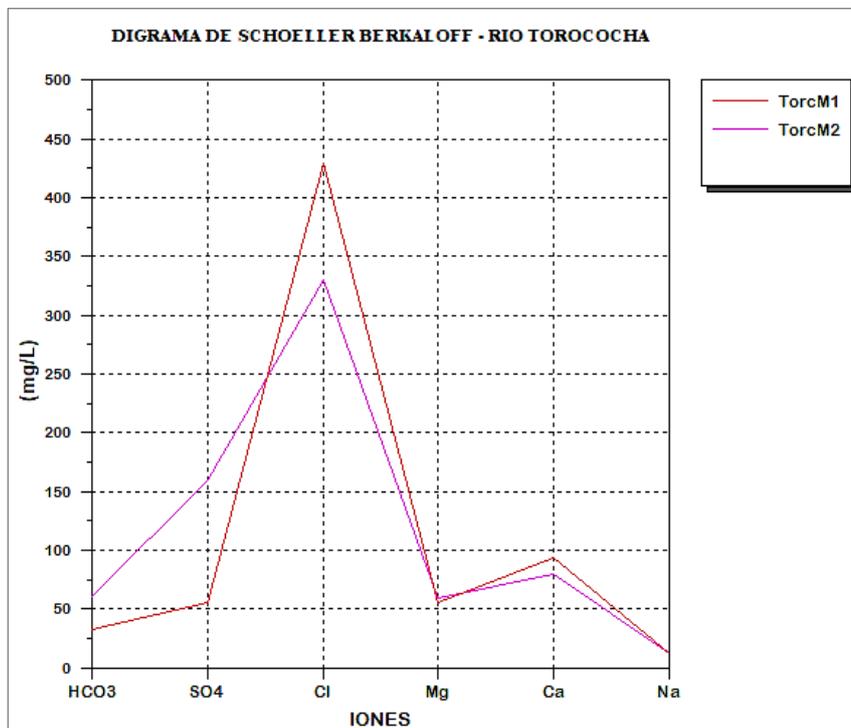


Figura 78. Diagrama de Schoeller, presenta las concentraciones de los principales cationes y aniones de las estaciones muestreadas del río Torococha en la época de estiaje - junio 2022.

Río Coata

En la figura 79, se muestran las concentraciones de los aniones y cationes en donde el diagrama Schoeller indica a simple vista que en el río Coata existe solo un tipo de agua por el contenido de Cl que presentan las muestras CoatM3, CoatM4 y CoatM5 y podemos



clasificar que estas aguas no son tan salinos como las aguas del río Torococha, y las concentraciones de SO_4 en la muestra CoatM3 en donde se presenta una cierta elevación y así mismo sucede algo similar con la concentración del catión “Ca” por ende esta muestra tiende a ser más cálcica, las variaciones que presenta esta estación es producto de la mezcla que realiza con las aguas del río Torococha, por lo tanto las aguas del río Coata en la estación CoatM3 la composición química que presenta es influenciada por las aguas del río Torococha. Mientras las muestras CoatM4 y CoatM5 en donde no influye en su composición las aguas del río Torococha, presentan bajas cantidades de SO_4 y la concentración de Mg y Ca son casi iguales. Por otro lado, comúnmente el Mg y Ca se presentan concentraciones mayores en aguas cercanas a formaciones carbonatadas (disolución de calizas o dolomías), efectivamente en la zona se presenta rocas carbonatadas donde tendrían influencia en la composición de las concentraciones de Mg y Ca en las aguas del río Coata en las estaciones de monitoreo CoatM4 y CoatM5.

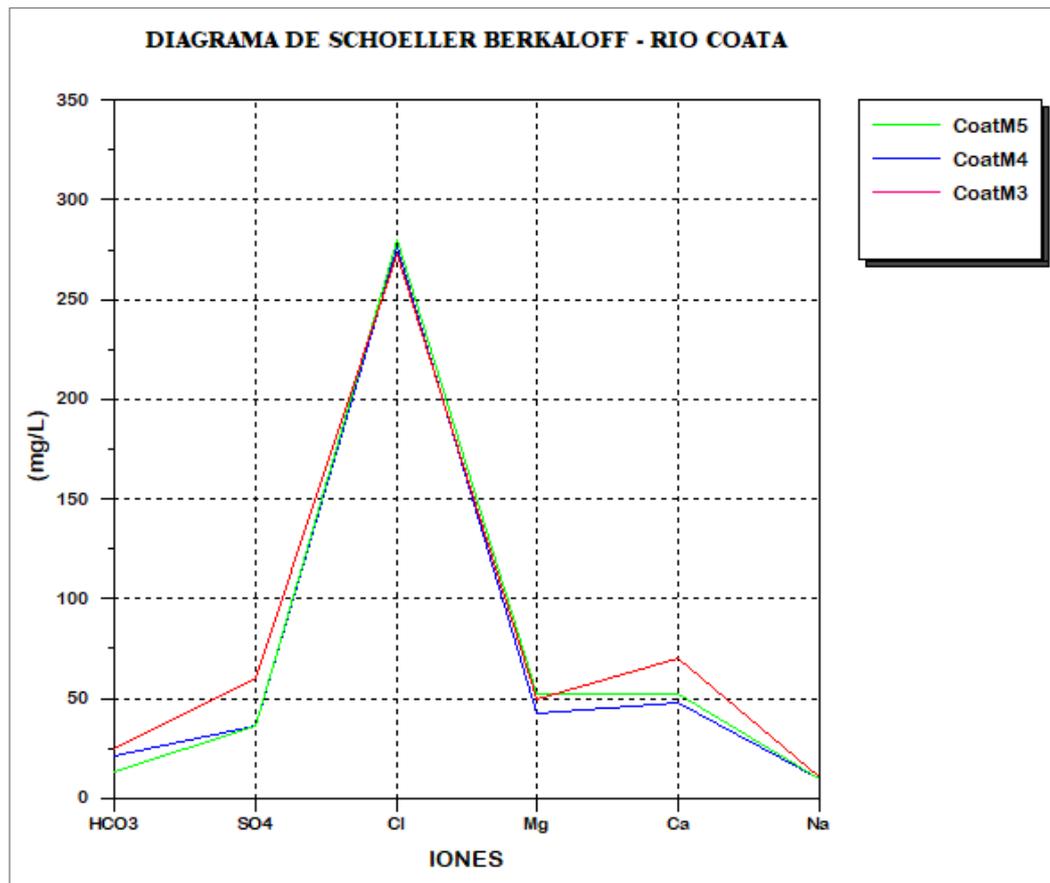


Figura 79. Diagrama de Schoeller, presenta las concentraciones de los principales cationes y aniones de las estaciones muestreadas del río Coata en la época de estiaje - junio 2022.

5.2.1.4. Diagrama de Durov

En el diagrama de Durov se han ploteado todas las muestras obtenidas en in-situ. Este diagrama es similar al diagrama de Piper, la diferencia es que presenta tanto los iones y la vez las concentraciones de TDS y pH de cada muestra ploteada. por tanto, con este diagrama se puede saber el tipo de agua y la calidad de agua para riego.

Río Torococha

En la figura 80, con respecto a las aguas del río Torococha definitivamente en la muestra TorcM1 es de composición “clorurada cálcicas magnésicas” y la muestra TorcM2 presenta un carácter “clorurada y/o sulfatada cálcica magnésica. El pH de estas aguas son de composición ligeramente alcalino. Respecto a las concentraciones TDS que

presenta estas aguas son elevadas. Por lo tanto, estas aguas no son aptos para fines de riego.

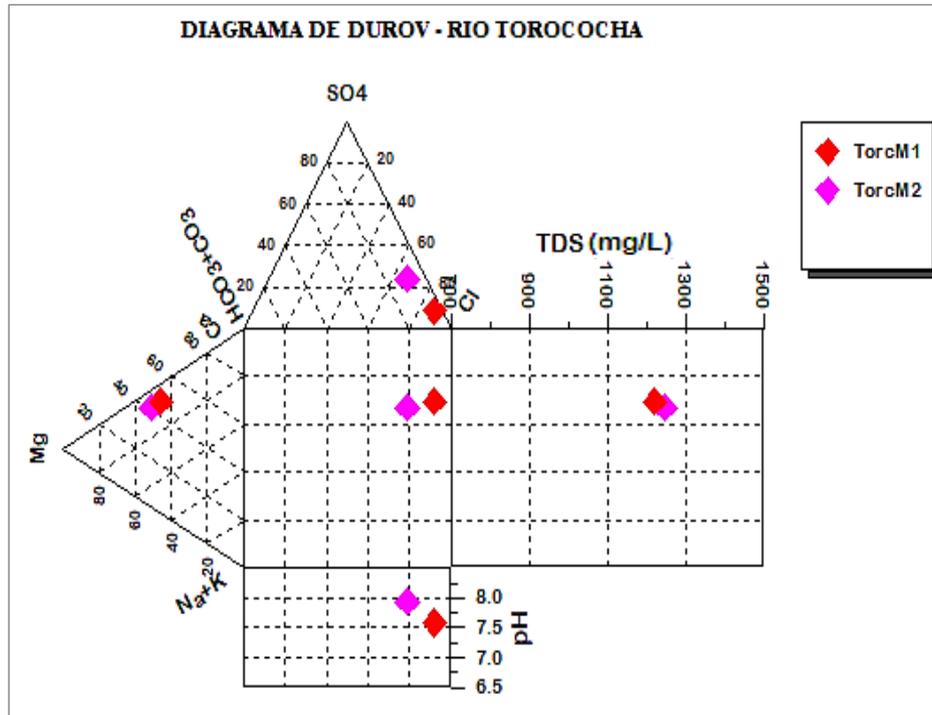


Figura 80. Diagrama de Durov del río Coata con las estaciones de monitoreo ploteada.

Río Coata

En la figura 81, se muestra que las aguas del río Coata en el área de estudio, son de composición “clorurada cálcicas magnésicas”. El pH que presenta estas aguas son de composición ligeramente alcalino. Con respecto al parámetro de TDS en las estaciones CoatM4 y CoatM5 las concentraciones no son altas, pero en la muestra CoatM3 la concentración que posee es elevada, se debe al vertimiento de las aguas del río Torococha y esta estación de monitoreo recibe estas aguas, en donde influye en la contaminación y la composición de los elementos químicos en la estación CoatM3, claro ejemplo de concentración elevadas de TDS y sucede de igual forma en otros parámetros, y mientras aguas arriba de la zona del vertimiento de aguas del río Torococha en el río Coata se presentan concentraciones bajas de TDS. Por lo tanto, en la zona de estudio las aguas del

río Coata solo están aptos para fines de riego las aguas arriba de la confluencia de ambos ríos, recomendando su monitoreo para evitar su incremento.

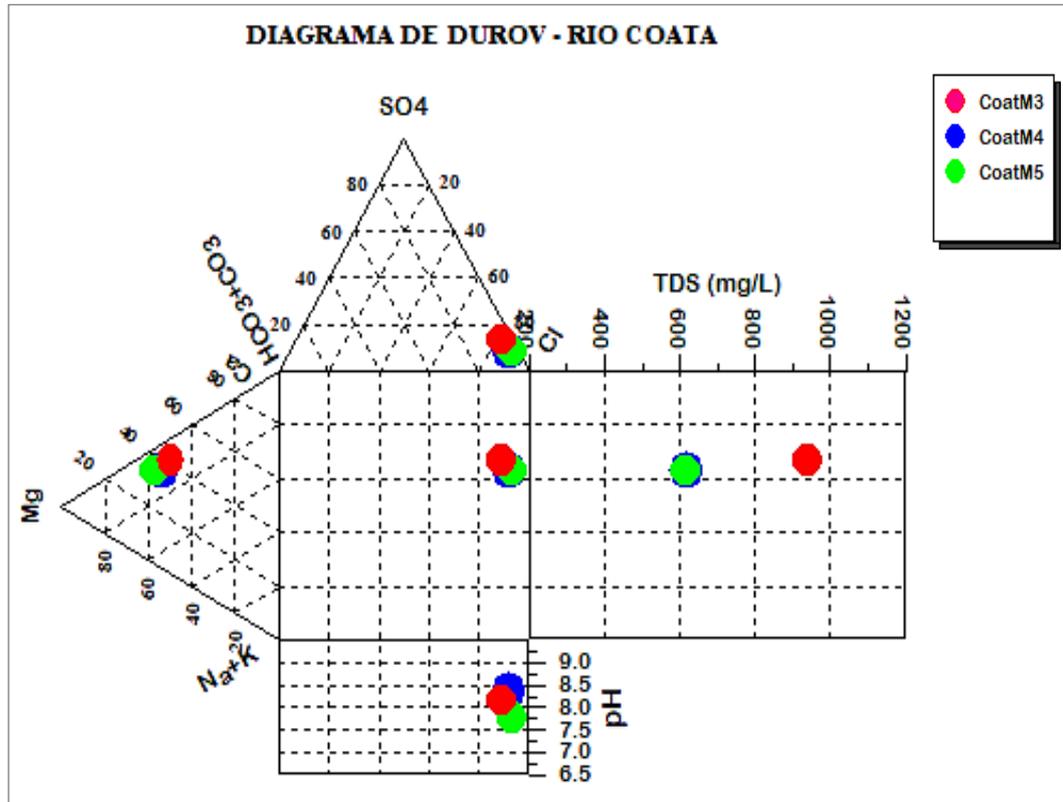


Figura 81. Diagrama de Durov del río Coata con las estaciones de monitoreo ploteada.

5.2.1.5. Diagrama de Wilcox

Al igual que el diagrama de Durov el diagrama de Wilcox nos proporciona la información de la calidad de agua para riego. Este diagrama trabaja con las concentraciones de Na y salinidad.

Río Torococha

De acuerdo a la clasificación del diagrama que se presenta en la figura 82, se muestra que las aguas del río Torococha de las estaciones TorcM1 y TorcM2 en peligrosidad de salinidad son clasificadas de alto riesgo, por ende, estas aguas no son aptos para tales fines, si en caso se diera su uso para fines de riego, la consecuencia de su utilización afecta negativamente en el crecimiento de los cultivos.

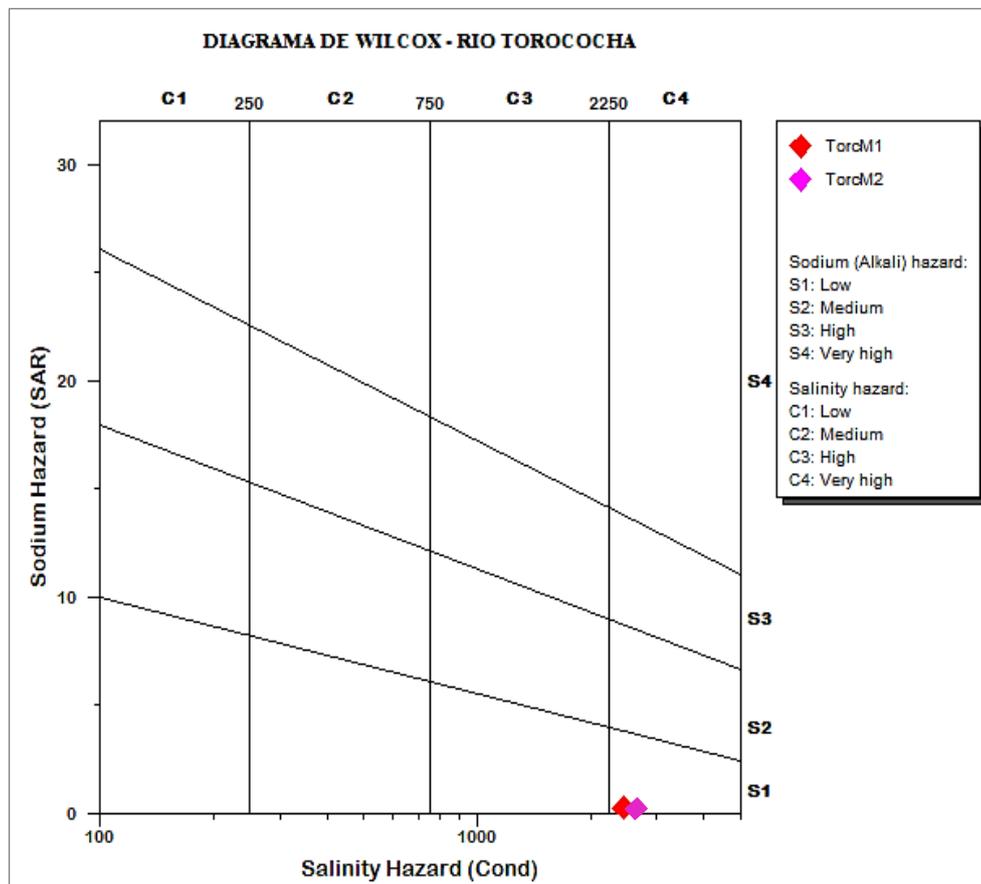


Figura 82. Representación del diagrama Wilcox con las estaciones de monitoreo ploteada de las aguas del río Torococha.

Río Coata

De acuerdo a la clasificación del diagrama que se presenta en la figura 83, se muestra que las aguas del río Coata en la estación CoatM3 en peligrosidad tiende a clasificar para alto riesgo, por lo tanto, no es apto para fines de riego. Mientras las estaciones CoatM4 y CoatM5 presentan un potencial de sodicidad bajo, con una salinidad alto, según el diagrama podemos decir que las aguas del río Coata (aguas arriba del vertimiento del río Torococha) por su contenido de Na y sal son aptas para fines de riego, siempre en cuando se realice monitoreos para evitar su incremento.

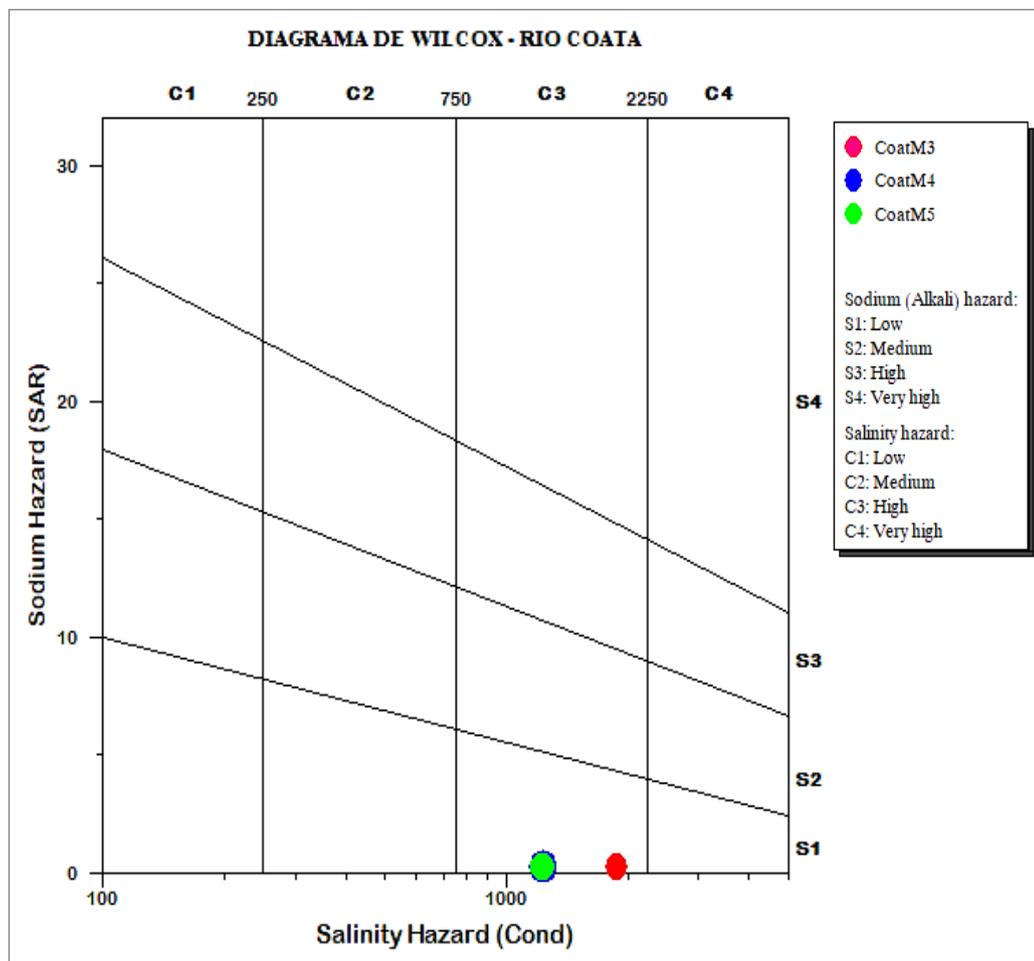


Figura 83. Representación del diagrama Wilcox con las estaciones de monitoreo ploteada de las aguas del río Coata.

5.2.2. Concentraciones de metales pesados (Al, As, Cd, Cr, Fe, Hg, Mn, Pb y Zn) en las aguas superficiales de los ríos Coata y Torococha.

Tabla 20. Concentración de los metales pesados (Al, As, Cd, Cr, Fe, Hg, Mn, Pb y Zn) en las aguas superficiales de los ríos Coata y Torococha, obtenido de los laboratorios ALAB y LAS.

RESULTADOS EMITIDOS DEL LABORATORIO DEL 1ER Y 2DO MUESTREO					
PRIMIER MUESTREO					
PARÁMETROS	TorcM1	TorcM2	CoatM3	CoatM4	CoatM5
Al	0,476	0,462	0,429	0,312	0,392
As	0,015	0,025	0,021	0,023	0,019
Cd	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Cr	<0,0002	0,0020	0,0006	<0,0002	<0,0002
Fe	0,014	0,146	0,375	0,261	0,098
Hg	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Mn	0,5990	0,2831	0,2200	0,2101	0,0423
Pb	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Zn	0,0099	0,0233	0,0161	0,0148	0,0176
SEGUNDO MUESTREO					
PARÁMETROS	TorcM1	TorcM2	CoatM3	CoatM4	CoatM5
Al	0,547	0,499	0,480	0,326	0,381
As	0,014	0,015	0,016	0,019	0,016
Cd	<0,00011	<0,00011	<0,00011	<0,00011	<0,00011
Cr	<0,00039	<0,00039	<0,00039	<0,00039	<0,00039
Fe	0,084	0,115	0,305	0,294	0,107
Hg	<0,00041	<0,00041	<0,00041	<0,00041	<0,00041
Mn	0,70142	0,38939	0,23188	0,18655	0,00125
Zn	<0,0031	<0,0031	<0,0031	<0,0031	<0,0031

En la tabla 20 y figura 84, se presentan los resultados emitidos del laboratorio tanto del 1er y 2do muestreo realizado. Donde se muestran las concentraciones de los metales pesados correspondientes a las estaciones de monitoreo ubicado en los ríos Coata y Torococha.

Se observa en la tabla 20 como en la figura 84, resultados correspondientes del 1er y 2do muestreo realizado en época de estiaje junio 2021 y 2022, donde se muestra que hay presencia de las concentraciones de los metales pesados como Al, As, Fe y Mn, por otro lado, Cd, Cr, Hg, Pb y Zn, muestran concentraciones menores hasta nulos. Se aplica para todas las estaciones de muestreo.

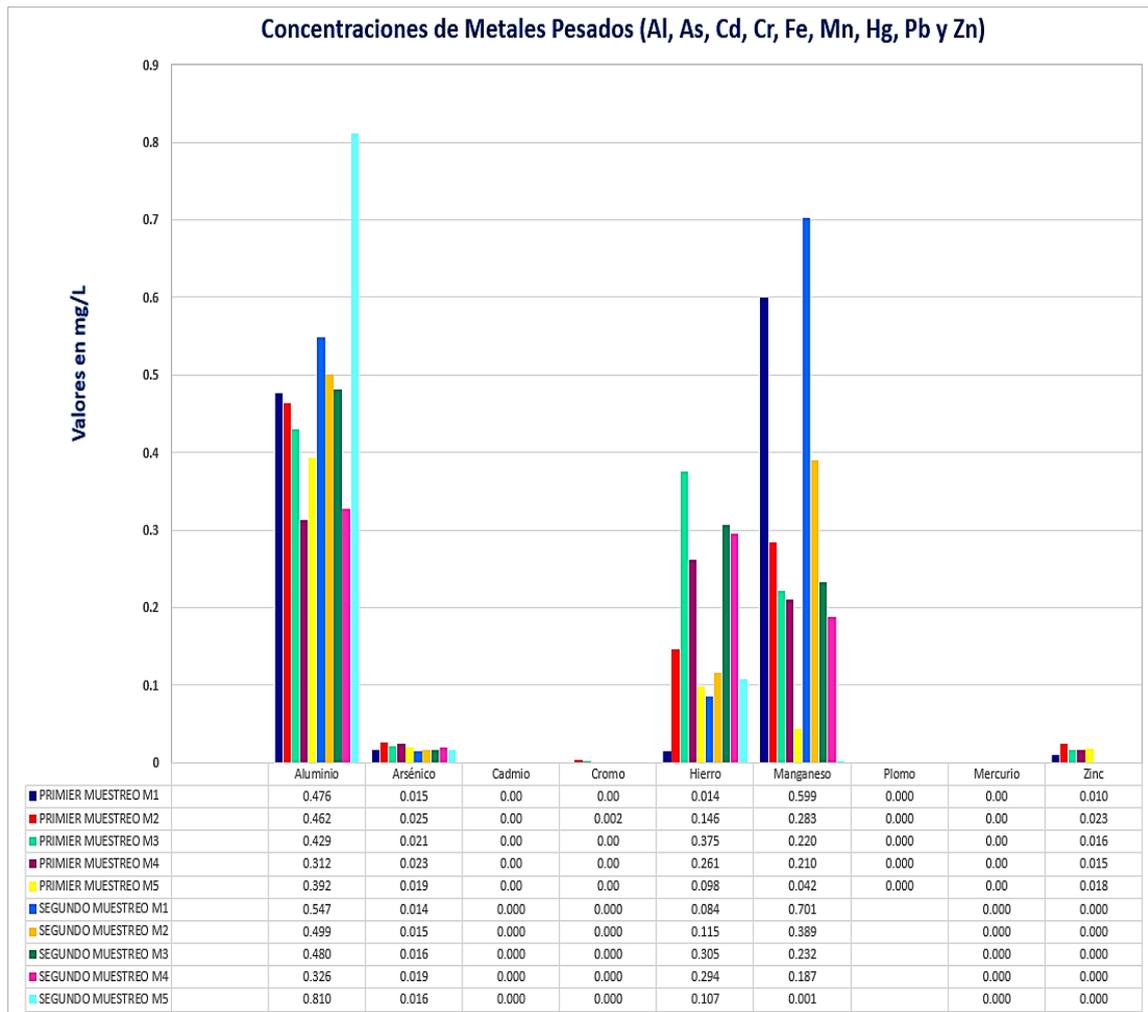


Figura 84. Presentación de las concentraciones halladas de las estaciones de monitoreo realizado tanto en el 1er y 2do muestreo.



5.3. CALIDAD DEL AGUA SEGÚN LAS CONCENTRACIONES DE LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS Y METALES PESADOS (Al, As, Cd, Cr, Fe, Hg, Mn, Pb y Zn) CON LOS ESTÁNDARES ESTABLECIDOS DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA

5.3.1. Resultados de los laboratorios por ICP-OES para metales pesados y datos fisicoquímicos obtenidos en campo y laboratorio de las aguas superficiales de los ríos Coata y Torococha.

El análisis realizado con los datos emitido de los laboratorios por ICP-OES para metales pesados y datos fisicoquímicos obtenidos tanto en campo como laboratorio, se tomó en consideración las normas legales de Estándares de Calidad Ambiental (ECA-2017) para agua. Trabajado con las siguientes categorías: Categoría 1 - subcategoría A1 (aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección) y A2 (aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional). Categoría 3: subcategorías D1 (riego de vegetales) y D2 (bebida de animales). Categoría 4: Conservación del ambiente acuático, E2: Ríos – costa y sierra. El alcance se indica en las siguientes tablas 21- 22. Según la Autoridad Nacional de Agua (ANA) indica que la zona de estudio tanto el río Coata y Torococha pertenece a la categoría 3: subcategorías D1 (riego de vegetales) y D2 (bebida de animales). En el trabajo de investigación se incluye las siguientes categorías mencionadas con el objetivo de saber que tan contaminados están los cuerpos de agua para estas subcategorías: A1, A2, D1, D2 y E2.

Tabla 21. Resultados del 1er muestreo "pruebas de laboratorio de análisis de calidad de agua (ICP-OES) y parámetros fisicoquímicos obtenidos en campo".

RESULTADOS DEL IER MONITOREO											
ESTACIONES DE MONITOREO											
PARÁMETROS	UNIDAD	TorcM1	TorcM2	CoatM3	CoatM4	CoatM5	Estándares de Calidad Ambiental (ECA)				
							Catg. 1: (A1) Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Catg. 1: (A2) Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Catg. 3: (D1) Riego de vegetales	Catg. 3: (D2) Bebida de animales	Catg. 4: E2 Ríos – Costa y sierra
FÍSICO-QUÍMICO											
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	7.94	8.01	8.00	8.39	7.91	6,5 - 8,5	5,5 - 9,0	6,5 - 8,5	6,5 - 8,4	6,5 - 9,0
Conductividad (CE)	uS/cm	2355	2398	1831	1376	1257	1 500	1 600	2 500	5 000	1 000
Oxígeno disuelto	mg/L	0,31	1,45	2,91	7,5	10,98	≥ 6	≥ 5	≥ 4	≥ 5	≥ 5
Temperatura	°C	12.50	11.81	11.42	10.83	10.50	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 3
Metales Totales ICP-OES											
Al	mg/L	0,476	0,462	0,429	0,312	0,392	0,9	5	5	5	**
Sb	mg/L	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,02	0,02	**	**	0,64
As	mg/L	0,015	0,025	0,021	0,023	0,019	0,01	0,01	0,1	0,2	0,15
Ba	mg/L	0,0692	0,0549	0,0520	0,0620	0,0603	0,7	1	0,7	**	0,7
Be	mg/L	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	0,012	0,04	0,1	0,1	**
B	mg/L	0,574	0,530	0,519	0,566	0,554	2,4	2,4	1	5	**

Cd	mg/L	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,003	0,005	0,01	0,05	0,00025
Co	mg/L	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	**	**	0,05	1	**
Cu	mg/L	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	2	2	0,2	0,5	0,1
Cr	mg/L	<0,0002	0,0020	0,0006	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	0,05	0,05	0,1	1	0,011
Fe	mg/L	0,014	0,146	0,375	0,261	0,098	0,098	0,098	0,3	1	5	**	**
Li	mg/L	0,1583	0,1598	0,1729	0,2185	0,2373	0,2373	0,2373	**	**	2,5	2,5	**
Mg	mg/L	15,656	15,618	14,379	11,006	8,718	8,718	8,718	**	**	**	250	**
Mn	mg/L	0,5990	0,2831	0,2200	0,2101	0,0423	0,0423	0,0423	0,4	0,4	0,2	0,2	**
Hg	mg/L	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,001	0,002	0,001	0,01	0,0001
Ni	mg/L	0,0038	0,0053	0,0041	0,0024	0,0031	0,0031	0,0031	0,07	**	0,2	1	0,052
Pb	mg/L	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,01	0,05	0,05	0,05	0,0025
Se	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,04	0,04	0,02	0,05	0,005
Ti	mg/L	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	**	**	**	**	0,0008
U	mg/L	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,02	0,02	**	**	**
Zn	mg/L	0,0099	0,0233	0,0161	0,0148	0,0176	0,0176	0,0176	3	5	2	24	0,12

ECA: Categoría 1: Población y recreación, Sub categoría A1 (aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección) y A2 (Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional)

ECA: Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales, D1 (riego de vegetales) y D2 (bebida de animales).

ECA: Categoría 4: Conservación del ambiente acuático, E2: Ríos – Coata y Sierra.

Supera los límites permisibles ECA

El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta subcategoría.

Tabla 22. Resultados del 2do muestreo "pruebas de laboratorio de análisis de calidad de agua (ICP-OES) y parámetros fisicoquímicos obtenidos en campo y laboratorio".

RESULTADOS DEL 2DO MONITOREO												
PARÁMETROS	UNIDAD	ESTACIONES DE MONITOREO					CoatM5	Catg. 1 (A1) Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Catg. 1 (A2) Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Catg. 3: (D1) Riego de vegetales	Catg. 3: (D2) Bebida de animales	Catg. 4: (E2) Ríos - Costa y Sierra
		TorcM1	TorcM2	CoatM3	CoatM4	CoatM5						
FÍSICO-QUÍMICO												
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	7.58	7.94	8.14	8.35	7.77	6,5 - 8,5	5,5 - 9,0	6,5- 8,5	6,5- 8,4	6,5 - 9,0	
Conductividad (CE)	uS/cm	2450	2500	1880	1237	1233	1 500	1 600	2 500	5 000	1 000	
Oxígeno disuelto	mg/L	2,90	3,15	3,46	5,34	7,83	≥ 6	≥ 5	≥ 4	≥ 5	≥ 5	
Sólidos disueltos Totales	mg/L	1222	1248.941	941	620	617	1 000	1 000	**	**	**	
Cloruros	mg/L	429.06	329.77	273.04	276.58	280.13	250	250	500	**	**	
Sulfatos	mg/L	55.71	159.93	60.03	36.02	36.02	250	500	1 000	1 000	**	
Carbonatos	mg/L	0.00	7.80	0.00	0.00	0.00	**	**	**	**	**	
Bicarbonatos	mg/L	32.94	61.01	24.40	20.74	12.20	**	**	518	**	**	
Nitratos	mg/L	409.20	458.80	260.40	31.00	24.80	50	50	100	100	13	
Temperatura	°C	10.72	10.40	11.11	10.64	10.12	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 3	
Metales Totales ICP-OES												
Al	mg/L	0,547	0,499	0,480	0,326	0,381	0,9	5	5	5	**	

As	mg/L	0,014	0,015	0,016	0,019	0,016	0,01	0,01	0,1	0,2	0,15
Cd	mg/L	<0,00011	<0,00011	<0,00011	<0,00011	<0,00011	0,003	0,005	0,01	0,05	0,00025
Cr	mg/L	<0,00039	<0,00039	<0,00039	<0,00039	<0,00039	0,05	0,05	0,1	1	0,011
Fe	mg/L	0,084	0,115	0,305	0,294	0,107	0,3	1	5	**	**
Mn	mg/L	0,70142	0,38939	0,23188	0,18655	0,00125	0,4	0,4	0,2	0,2	**
Hg	mg/L	<0,00041	<0,00041	<0,00041	<0,00041	<0,00041	0,001	0,002	0,001	0,01	0,0001
Zn	mg/L	<0,0031	<0,0031	<0,0031	<0,0031	<0,0031	3	5	2	24	0,12

ECA: Categoría 1: Población y recreación, Sub categoría A1 (aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección) y A2 (Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional)

ECA: Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales, D1 (riego de vegetales) y D2 (bebida de animales).

ECA: Categoría 4: Conservación del ambiente acuático, E2: Ríos – Coata y Sierra.

Supera los límites permisibles ECA

El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta subcategoría.

5.3.2. Contaminación según las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos

5.3.2.1. Resultados del primer y segundo monitoreo

Conductividad eléctrica (CE)

Los resultados obtenidos en el trabajo de investigación respecto a CE. Los datos presentados en la tabla 21 – 22 y figura 85, muestran datos del 1er y 2do monitoreo realizado. Se superan los límites permisibles en las estaciones de monitoreo TorcM1, TorcM2 y CoatM3 para las subcategorías (A1) y (A2). Estaciones TorcM1 y TorcM2 ubicado en el río Torococha y CoatM3 situado en río Coata, con los cual se determina que estas aguas no pueden ser usados para la potabilización con desinfección y potabilización con tratamiento convencional y tampoco no es el único parámetro que supera los límites permisibles en las estaciones mencionadas. Sin embargo, las muestras CoatM4 y CoatM5 ubicados en el río Coata no se superan los límites permisibles para las subcategorías (A1) – (A2), pero no son recomendables hacer uso para tales fines, porque existe otros parámetros que superan los límites permisibles y para su potabilización se necesitaría una mayor demanda de los requerimientos de filtración o de otros tipos de tratamiento para que estas aguas sean aptas para su consumo. Para las subcatg. (D1) – (D2) en ambos monitoreos, todas las estaciones de muestreo no superan los límites permisibles, pero no es recomendable hacer uso las aguas de las estaciones TorcM1, TorcM2 y CoatM3 motivo de que otros parameros tanto fisicoquímicos y metales pesados presentan superación para la categoría mencionada, en excepción las estaciones CoatM4 y CoatM5 serian aptas para riego de vegetales y bebida de animales pudiendo ser utilizadas para tales fines. Para la categoría 4: subcatg. E2, en ambos monitoreos se superan los límites permisibles en todas las estaciones de monitoreo, lo cual nos

determina que estas aguas están muy contaminadas para la conservación de la vida acuática, los puntos más críticos son las estaciones TorcM1, TorcM2 y CoatM3.

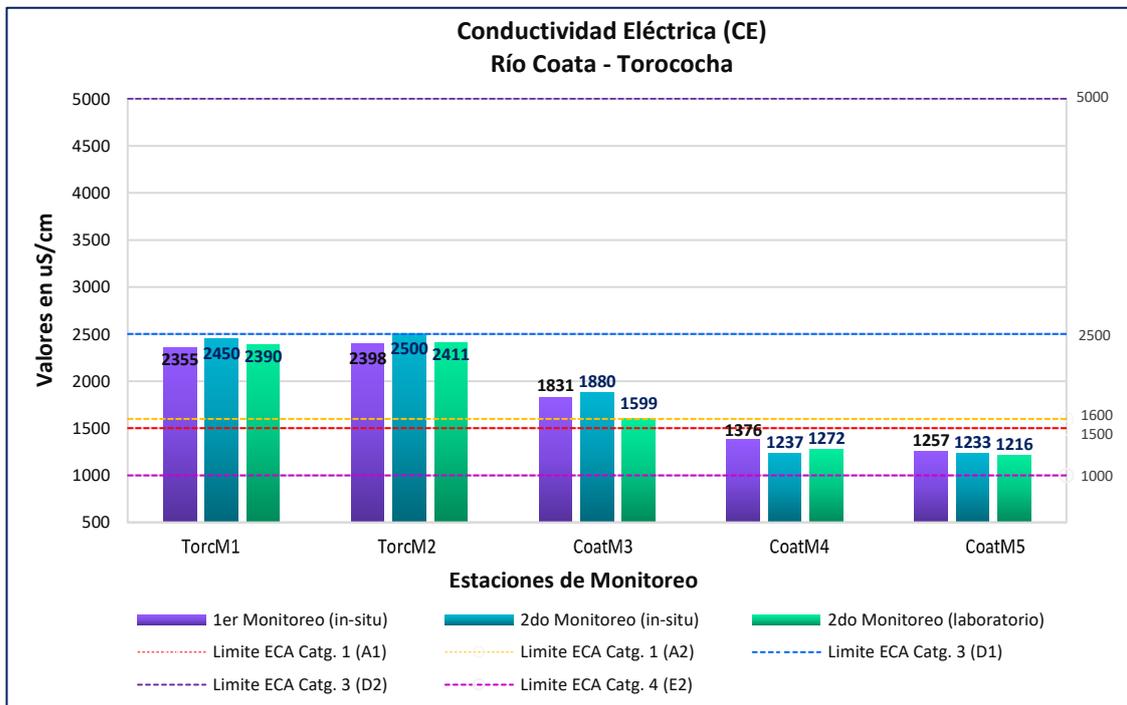


Figura 85. Comportamiento de la conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) en aguas de los ríos Coata y Torococha. Junio de 2021 y 2022.

En la investigación realizada en la cuenca baja del río Coata por Capacoila, (2017) en donde compara sus resultados con los estándares de la calidad ambiental (ECA) para agua del ministerio del ambiente. Subcategoría (A1) indica que excede la CE para esta categoría en la zona de vertimiento del río Torococha en el río Coata. Por otro lado, las concentraciones encontradas y comparadas con la categoría 3. Realizada por Gutierrez, (2018) en su investigación de la desembocadura del río Torococha en río Coata, indica que el parámetro CE cumple para la categoría mencionada. Mientras la comparación que realizo Inquilla, (2020) con los datos que obtuvo del río Coata, indica que la CE para la subcategoría A1, todas las muestras se encontraron por debajo del límite máximo permisible.



Los resultados en el trabajo de investigación, efectivamente las concentraciones de CE en las aguas del río Coata no superan para las subcategorías D1 y D2. Mientras para la subcategoría A1 excede en la zona del vertimiento del río Torococha en el cuerpo receptor a 200 metros aguas abajo. Con las comparaciones realizadas podemos indicar que las concentraciones de CE encontradas en el Torococha influye en la contaminación del río Coata, según los antecedentes y los resultados obtenidos las concentraciones exceden para las subcategorías A1 y A2 en la zona del vertimiento del río Torococha en el río Coata.

Potencial de hidrógeno (pH)

Los resultados obtenidos en el trabajo de investigación respecto a pH. Los datos presentados en la tabla 21 – 22 y figura 86, muestran datos del 1er y 2do monitoreo realizado. No se superan los límites permisibles en todas las estaciones, en ambos monitoreos realizados, tanto para las subcategorías (A1) y (A2), subcategorías (D1) – (D2) y para la categoría 4: subcatg. E2. Pero no son recomendables hacer uso las aguas de las estaciones TorcM1, TorcM2 y CoatM3 motivo de que otros parámetros tanto fisicoquímicos y metales pesados superan los límites permisibles para las categorías mencionadas, en excepción las estaciones de monitoreo CoatM4 y CoatM5 serian aptas solo para riego de vegetales y bebida de animales pudiendo ser utilizadas para tales fines. Así mismo en estas estaciones no es crítica la contaminación para la conservación de la vida acuática categoría 4: subcatg. E2.

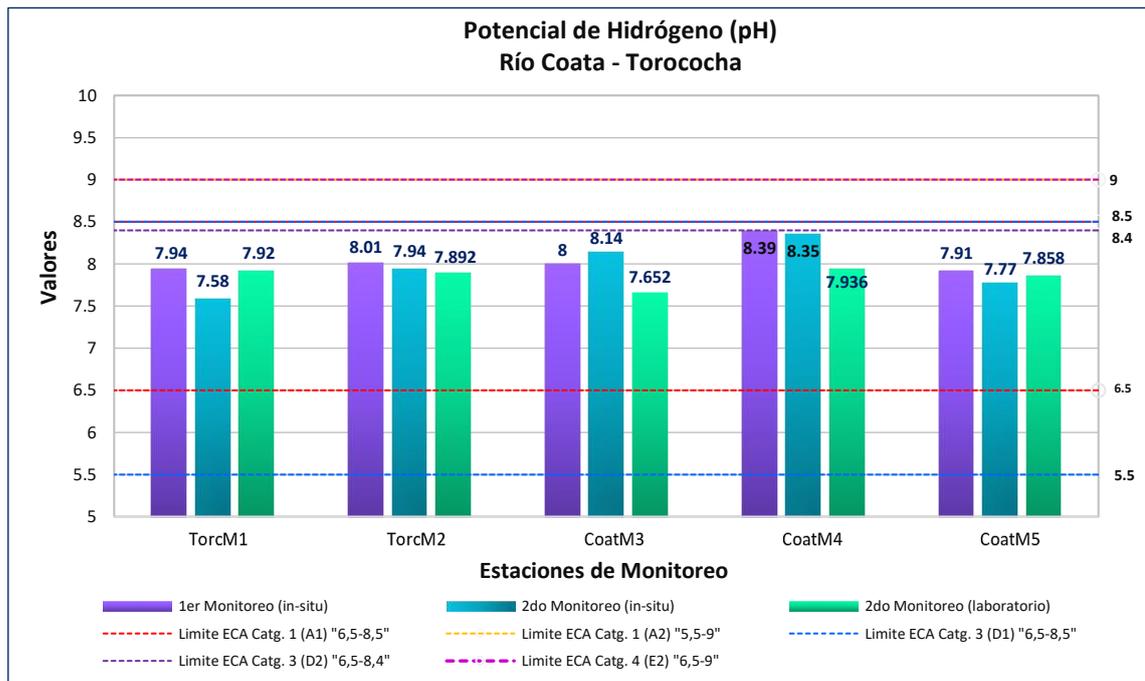


Figura 86. Comportamiento del pH en aguas de los ríos Coata y Torococha. Junio de 2021 y 2022.

En la figura 86 en el punto CoatM4 se muestra un cierto incremento en el pH, esto se debe a la existencia de rocas calizas en el puente Churi por donde las aguas del río Coata discurren y captan componentes que se disuelven en ella por ello presentan un cierto incremento en su concentración de pH.

Oxígeno disuelto (OD)

Los resultados obtenidos en el trabajo de investigación respecto a OD. Los datos presentados en la tabla 21 – 22 y figura 87, muestran datos del 1er y 2do monitoreo realizado. En ambos monitoreos no cumplen con la concentración mínima establecida las estaciones TorcM1, TorcM2 y CoatM3 para las subcategorías (A1) y (A2) mientras la estación CoatM4 en el primer monitoreo cumple con las concentraciones mínimas para las subcategorías mencionadas, pero en el segundo monitoreo este punto no cumple para la subcategoría (A1) en cambio sí cumple para la subcatg. (A2), la estación de monitoreo CoatM5 cumple con las concentraciones mínimas establecidas para ambas subcategorías.

Para las subcategorías (D1) – (D2) en ambos monitoreos, las estaciones TorcM1, TorcM2 y CoatM3 no cumplen con las concentraciones mínimas establecidas, en excepción las estaciones CoatM4 y CoatM5 si cumplen estos puntos serian aptas para riego de vegetales y bebida de animales pudiendo ser utilizadas para tales fines. Sucede algo similar para la categoría 4: (E2), las estaciones TorcM1, TorcM2 y CoatM3 no cumplen con las concentraciones mínimas establecidas, con lo cual se dice que estas aguas están contaminadas para la conservación de la vida acuática, en excepción las estaciones CoatM4 y CoatM5 si cumplen con las concentraciones mínimas establecidas de la categoría mencionada, lo cual nos indica que estas aguas no están contaminadas por este parámetro para la conservación de la vida acuática.

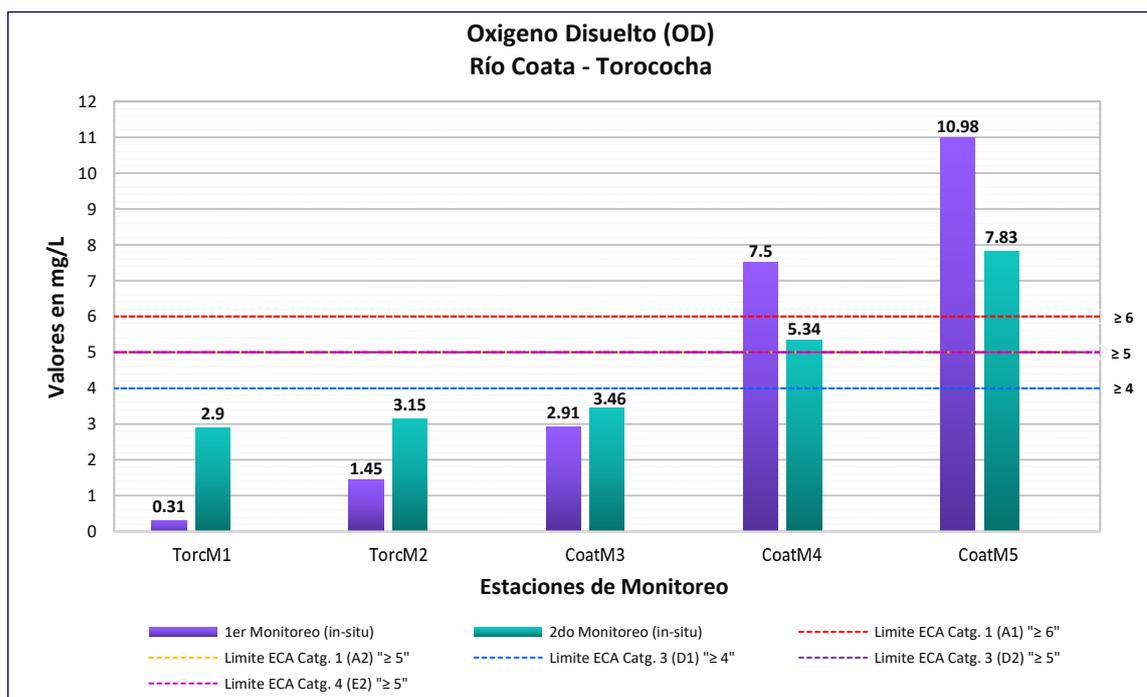


Figura 87. Comportamiento del oxígeno disuelto en aguas de los ríos Coata y Torococha. Junio de 2021 y 2022.

Los resultados obtenidos en el trabajo de investigación respecto de OD. Las concentraciones mínimas que no cumplen las subcategorías A1, A2, D1, D2 y E2 son las aguas del río Torococha y al desembocar influye en la composición de OD y en otros parámetros a las aguas del río Coata. En la investigación realizada por parte de Gutierrez,

(2018) también indica que según las concentraciones encontradas para OD en la zona del vertimiento del río Torococha en el río Coata el cual no cumple con las concentraciones mínimas para la subcatg. D2.

Solidos disueltos totales (TDS)

Los resultados obtenidos en el trabajo de investigación respecto a TDS. Los datos presentados en la tabla 22 y figura 88, muestran datos del 2do monitoreo realizado. Se superan los límites permisibles en las estaciones de monitoreo TorcM1 y TorcM2 para las subcategorías (A1) y (A2), en excepción las estaciones de monitoreo CoatM3, CoatM4 y CoatM5 no superan los límites permisibles de las subcategorías mencionadas, pero de igual forma no son recomendables hacer uso las aguas de las estaciones mencionadas, motivo porque otros parámetros tanto fisicoquímicos y metales pesados superan los límites permisibles, si en caso se haría uso para las subcategoría mencionadas, se necesitaría una mayor demanda de los requerimientos de filtración o de otros tipos de tratamiento, el costo de estos procesos de tratabilidad del agua sería elevado por tal motivo no es recomendable hacer uso para tales fines. Para las categorías 3 y 4 (**) este parámetro no aplica para estas categorías.

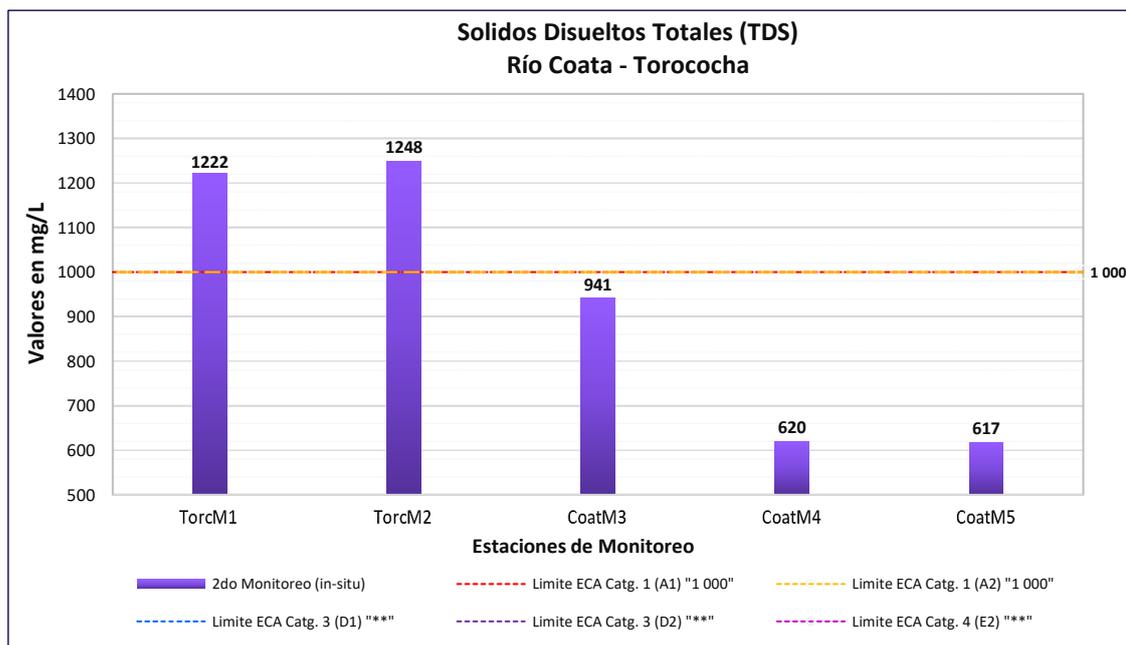


Figura 88. *Comportamiento del TDS en aguas de los ríos Coata y Torococha.*

La comparación que realizó Inquilla, (2020) con sus resultados obtenidos para la subcategoría (A1) indica que no superan los límites máximos permisibles para esta categoría. Efectivamente las aguas del río Coata, según los resultados obtenidos en el trabajo de investigación, respecto al parámetro TDS no superan los límites permisibles de las subcategorías A1 y A2. Mientras las concentraciones encontradas en las aguas del río Torococha superan los límites permisibles para las categorías mencionadas, a causa de la existencia de la abundante carga orgánica, residuos sólidos suspendidos que provienen del vertimiento de aguas servidas de la ciudad de Juliaca y de algunos sectores del distrito de Caracoto que están ubicados en la zona de estudio.

Cloruros (Cl⁻)

Los resultados obtenidos en el trabajo de investigación respecto a Cl⁻. Los datos presentados en la tabla 22 y figura 89, muestran datos del 2do monitoreo realizado. Para las subcategorías (A1) y (A2) Se superan los límites permisibles en todas las estaciones de monitoreo, no aptos para tales fines. Mientras para la subcategoría (D1) en todas las estaciones no superan los límites permisibles, pero no es recomendable las estaciones TorcM1, TorcM2 y CoatM3 ya que presentan niveles altos de concentración en otros parámetros, en excepción las estaciones CoatM4 y CoatM5 serian aptos para tales fines. Para las subcategorías (D2) y (E2) (**) este parámetro no aplica.

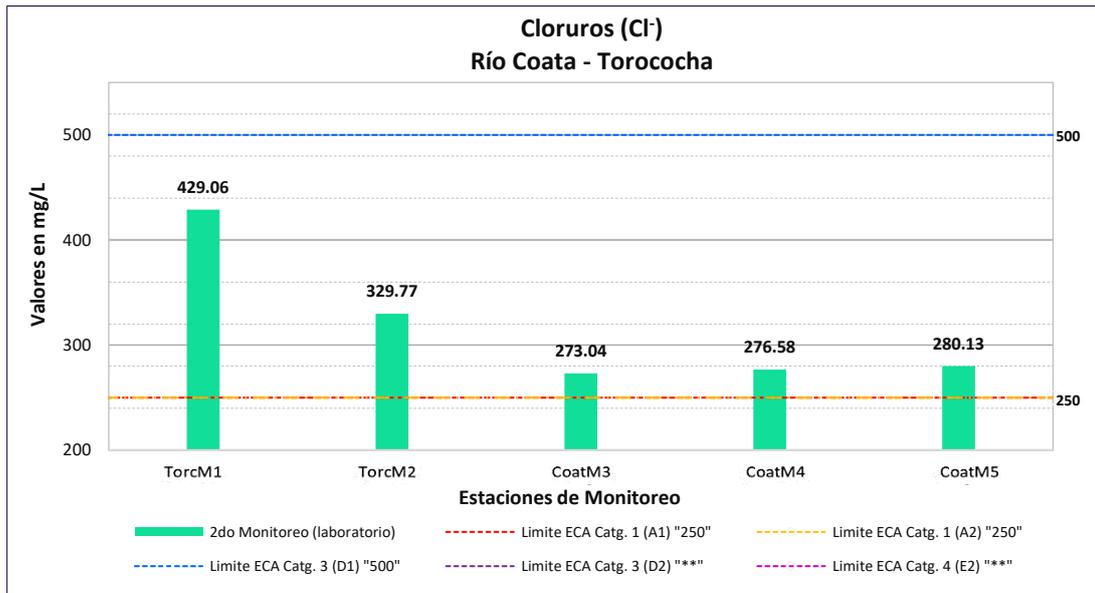


Figura 89. Comportamiento del Cl^- en aguas de los ríos Coata y Torococha. Junio del 2022.

Los resultados obtenidos en el trabajo de investigación respecto a Cl^- se encontraron mayores concentraciones en TorocM1 (429.06 mg/L) – TorcM2 (329.77 mg/L) correspondientes al río Torococha y en el río Coata muestra concentraciones de CoatM3 (273.04 mg/L), CoatM4 (276.58 mg/L) y CoatM5 (280.13 mg/L). Estas aguas superan los límites permisibles para las subcategorías A1 y A2. De igual manera Inquilla, (2020) en su investigación de las aguas del río Coata indico que las concentraciones encontradas superan los límites máximos permisibles para la subcategoría A1 de la ECA.

Las concentraciones elevadas de Cl^- en el río Torococha es a consecuencia de vertimiento de aguas residuales e incluso este parámetro nos determina contaminación de carácter microbiológico patógeno. Igualmente, en el río Coata presenta contenidos de Cl^- significativo el cual puede afectar el crecimiento vegetal, puede ser tóxico para muchos cultivos ya que contiene la salinidad total.



Nitratos (NO_3^-)

Los resultados obtenidos en el trabajo de investigación respecto a NO_3^- . Los datos presentados en la tabla 22 y figura 90, muestran datos del 2do monitoreo realizado. Para las subcategorías (A1) y (A2) Se superan los límites permisibles en las estaciones de monitoreo TorcM1, TorcM2 y CoatM3, no aptos para tales fines, en excepción las muestras CoatM4 y CoatM5 no superan los límites permisibles en este parámetro para esta categoría, pero no son recomendables para tales fines. Sucede casi similar para las subcategorías (D1) y (D2) se superan los límites permisibles en las estaciones de monitoreo TorcM1, TorcM2 y CoatM3 no pueden ser usadas para riego de vegetales y bebida de animales, sin embargo, en las estaciones de monitoreo CoatM4 y CoatM5 no superan los límites permisibles para estas subcategorías pudiendo ser utilizadas para tales fines. Mientras para la subcatg. E2, todas las estaciones de monitoreo superan los límites establecidos para esta subcategoría, lo cual se dice que por este parámetro estas aguas están contaminadas para la conservación de la vida acuática, puntos más críticos TorcM1, TorcM2 y CoatM3. Las concentraciones elevadas de nitratos se deben a que las aguas del río Torococha son altamente contaminadas con el vertimiento de aguas residuales domésticos e industriales lo cual contiene y transportan gran cantidad de nutrientes en forma de nitrógeno.

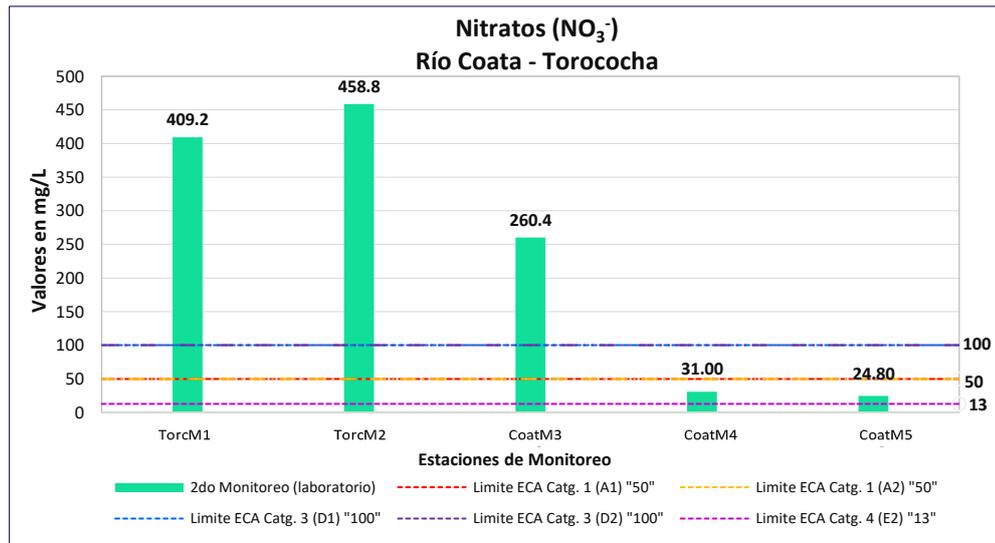


Figura 90. Comportamiento del NO_3^- en aguas de los ríos Coata y Torococha. Junio del 2022.

5.3.3. Contaminación según las concentraciones de los metales pesados

5.3.3.1. Resultados del primer y segundo muestreo

Arsénico (As)

De acuerdo a la tabla 21 – 22 y figura 91, para el caso del (As), en el 1er muestreo los valores varían entre (0,015 - 0,025 mg/L) – 2do muestreo (0,014 - 0,019 mg/L), en ambos monitoreos realizados, se superan los límites permisibles en las 05 estaciones de monitoreo, los límites se superan para las subcategorías A1 y A2 de la ECA – 2017. Con lo cual se dice que estas aguas no son recomendables para tales fines ya que no es el único parámetro que no cumple, sí en caso se haría uso para las subcategorías mencionadas, se necesitaría mayor demanda en los requerimientos para el diseño del PTAP ya sea implementando: Aireación hidráulica, precloración, mezcla rápida, sedimentador (tanque de retención), filtración y desinfección. Los procesos para el diseño de la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) se realiza de acuerdo a los resultados del estudio de tratabilidad del agua. Para las aguas superficiales estudiadas el costo del proceso de potabilización sería elevado por tal motivo no es recomendable hacer uso para tales fines.

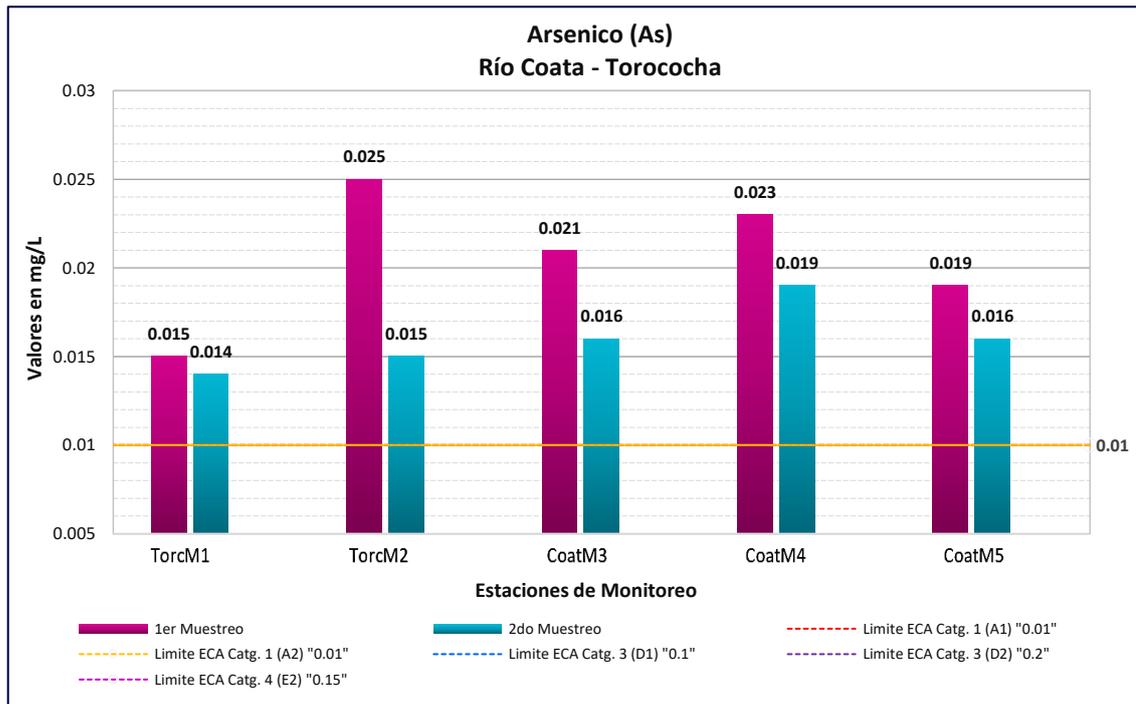


Figura 91. Comportamiento del arsénico (mg/L) en aguas de los ríos Coata y Torococha. Junio de 2021 y 2022.

Todas las estaciones de monitoreo presentan valores de As superiores a 0.01 mg/L, así mismo los resultados obtenidos por Gutierrez, (2018) en su investigación en la desembocadura del río Torococha en el río Coata, obtuvo siguientes concentraciones en su muestra M1 (0.02708 mg/L) y M2 (0.02777 mg/L) en el mes de Setiembre. También por su parte Inquilla, (2020) en su investigación de las aguas del río Coata las concentraciones que encontró para As son PM1 (0,028 mg/L), PM2 (0.030 mg/L) y PM3 (0.028 mg/L), así mismo Coila, (2022) en su investigación en la confluencia de los ríos Torococha y Coata también muestra las concentraciones de As que son 0.0206 mg/L, 0.02519 mg/L y 0.02782 mg/L. Por lo tanto, los resultados obtenidos en la investigación son similares con los antecedentes, y podemos confirmar que definitivamente estas aguas superan los límites permisibles para la subcategoría A1, mas no para las subcategorías D1, D2 y E2.

Así mismo se hizo un pozo exploratorio en la cuenca baja del río Coata en las coordenadas UTM: N: 8279313 – E: 390454 ubicado en el centro poblado de Suchis del

distrito de Caracoto para fines de potabilización y abastecer a la población de dicha comunidad, el agua subterránea extraída presenta (As) en cantidades de 0.0241 mg/L por ende supera los límites permisibles para las subcategorías A1 (aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección) y A2 (aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional), para que estas aguas sean aptos para el consumo humano, para la potabilización de estas aguas se optó realizar siguientes procesos para el diseño del PTAP: Cámara de pre oxidación, mezcla rápida, filtración directa y desinfección.

También se hizo estudios por parte de la autoridad nacional del agua (ANA), que afirmar que las aguas subterráneas específicamente en dos pozos tubulares situados en los distritos de Caracoto y Juliaca al margen del río Coata, donde se han identificado estas fuentes contaminadas en el cual influyen los cuerpos de agua superficial en este caso los ríos Coata y Torococha. Donde se concluye que las concentraciones de (As) en los cuerpos superficiales tiene influencia en las aguas subterráneas.

Hierro (Fe)

De acuerdo a la tabla 21 – 22 y figura 92, para el caso de (Fe), 1er muestreo (0,375 mg/L) – 2do muestreo (0,305 mg/L) en ambos monitoreos se supera los límites permisibles para la subcategoría A1 y A2 y en la estación de muestreo CoatM3, ubicado en la zona del vertimiento del río Torococha en el río Coata. De acuerdo a lo mencionado estas aguas de la estación CoatM3 no son recomendables para tales fines ya que en este punto no es el único parámetro que supera los límites permisibles, sí en caso se haría uso para las subcategorías mencionadas, se necesitaría mayor demanda en los requerimientos para el diseño del PTAP, implementando los procesos de acuerdo a los estudios de tratabilidad del agua. Los procesos de tratabilidad cuando la fuente exceso de “Fe” se

implementa: Aireación por cascada tipo escalera, precloración, sedimentador, filtración y desinfección. Para la subcategoría (D2) y (E2) (**) este parámetro no aplica.

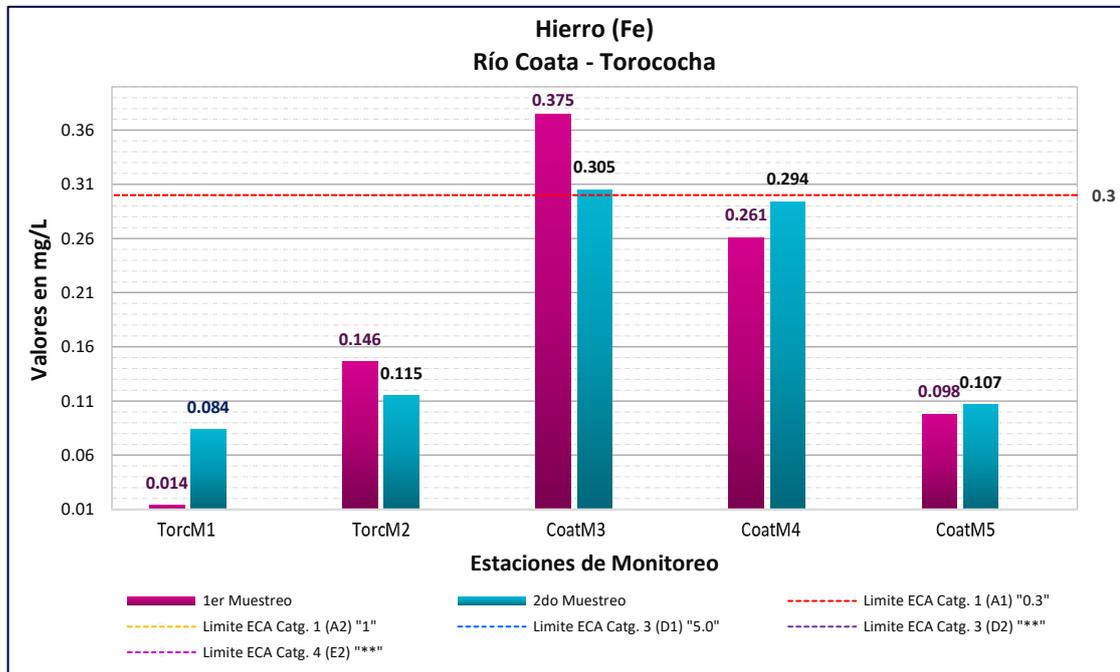


Figura 92. Comportamiento del hierro (mg/L) en aguas de los ríos Coata y Torococha. Junio de 2021 y 2022.

En la investigación que realizó Capacoila, (2017) respecto sus resultados obtenidos menciona que las concentraciones de “Fe” se presentan en época de avenida con un valor máximo 0.856 mg/L y en época de estiaje 0.184 mg/L. En donde concluye que exceden en la mayoría los límites permisibles para la subcategoría A1, donde existe mayores concentraciones es en la época de avenida, se puede decir que se encuentra asociado a la materia en suspensión ya que en época de avenida se presenta las aguas con mayor turbidez. Así mismo en el trabajo de investigación en época de estiaje se obtuvo valores que superan los límites permisibles para la subcategoría “A1” en la estación CoatM3 en esta zona se presenta la mezcla de aguas de ambos ríos, el cual origina la existencia de partículas suspendidas en el agua. Podemos indicar que la concentración de hierro va incrementando según los resultados obtenidos y comprado con los antecedentes.



Manganeso (Mn)

De acuerdo a la tabla 21 – 22 y figura 93, para el caso de (Mn), 1er muestreo (0,599 – 0,210 mg/L) – 2do muestreo (0,70142 – 0,23188 mg/L) en ambos muestreos se superan los límites permisibles en el río Torococha en los dos puntos TorcM1 - TorcM2 y en el río Coata en las estaciones de muestreo CoatM3 con excepción en la muestra CoatM4 solo se supera en el primer muestreo. Para las subcategorías A1 y A2 en ambos muestreos se superan los límites permisibles únicamente en la muestra TorcM1 (0,599 – 0,70142 mg/L) ubicado en el río Torococha, de acuerdo a los resultados podemos decir que no son aptos para tales fines. Para la categoría 3: D1 y D2, en ambos muestreos los límites se superan para estas subcategorías en las 03 estaciones de monitoreo TorcM1, TorcM2 y CoatM3 ubicado en el río Torococha y Coata, con excepción la muestra CoatM4 solo supera los límites permisibles en el primer muestreo. Con lo cual se dice que estas aguas de las estaciones de monitoreo TorcM1, TorcM2 y CoatM3 no pueden ser usadas para tales fines debido a las consecuencias que puede ocasionar su consumo en animales, lo cual sería alteraciones del sistema nervioso, daños en vías respiratorias e incluso alteraciones del comportamiento. Con excepción, la CoatM4 ubicado en el río Coata 50 m aguas arriba del vertimiento del río Torococha en el segundo muestreo no supera los límites permisibles de la categoría mencionada por el cual se puede utilizar para tales fines. Sin embargo, la muestra CoatM5 que está ubicado en río Coata a 50 metros aguas arriba del puente Churi en ambos muestreos no supera los límites permisibles tanto para la subcategoría A1 - A2, pero no es recomendable hacer uso para tales fines ya que, en este punto, otros parámetros superan los límites permisibles, mientras para la categoría 3: D1 y D2, se dice que estas aguas pueden ser utilizados para tales fines. Para las subcategorías (E2) (**) este parámetro no aplica.

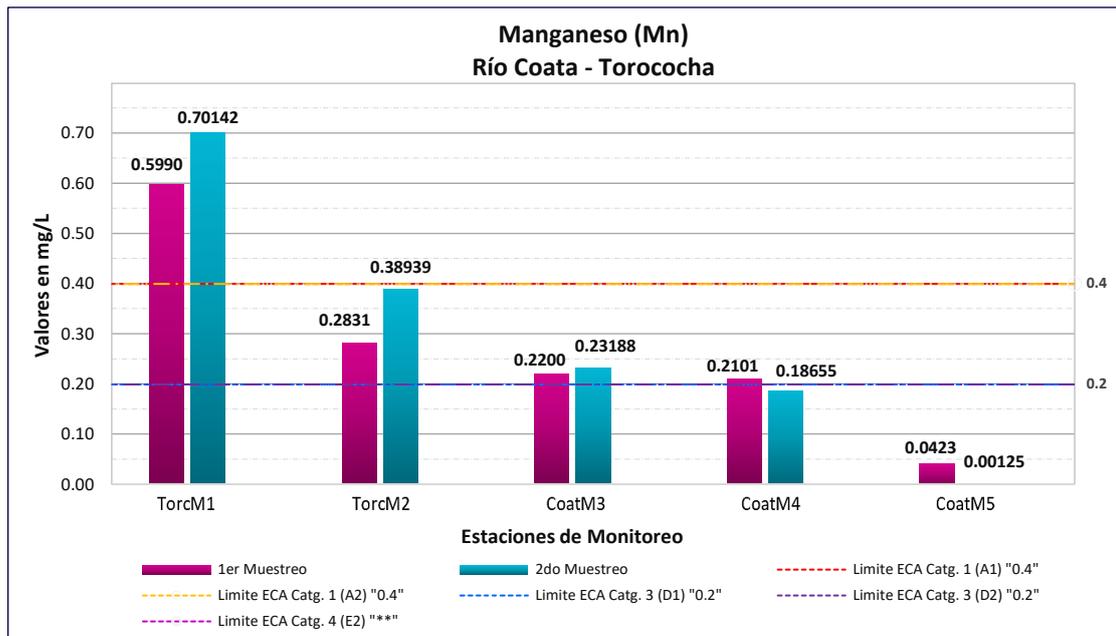


Figura 93. Comportamiento del manganeso (mg/L) en aguas de los ríos Coata y Torococha. Junio de 2021 y 2022.

Las concentraciones de “Mn” en las estaciones TorcM1, TorcM2 y CoatM3 son elevados, esto se debe a la liberación de manganeso durante la manufactura, uso de colorantes cerámicos naturales derivados de manganeso, usos o disposición de productos a base de manganeso como (fertilizantes, nutrición animal, energía portable como teléfonos – juguetes) todos aquellos equipos que contengan baterías en el cual se presenta dióxido de manganeso electrolítico. De acuerdo a esto podemos indicar que las aguas del río Torococha contaminan al río Coata.

Al, Cd, Cr, Hg, Pb y Zn

Para el caso de Al, Cd, Cr, Hg, Pb y Zn en ambos muestreos no superan los límites permisibles de la ECA, en las 05 estaciones de muestreo que están situadas tanto en río Coata y Torococha, cumplen los límites permisibles para la categoría 1: subcategorías A1 y A2, así mismo también para la categoría 3: subcategorías D1 y D2. Sucede de manera similar para la categoría 4: conservación del ambiente acuático, E2: ríos – costa y sierra.



Por su parte Gutierrez, (2018) en su investigación también obtuvo resultados de Al, Cd, Hg, Pb y Zn, en concentraciones inferiores para las subcategorías D1 y D2, e incluso estas concentraciones no superan los límites permisibles para otras categorías de la ECA para agua. Así mismo también por Coila, (2022) las concentraciones que encontró para Cd, Cr, Hg y Zn, en la confluencia del río Torococha y Coata son valores que no superan los límites permisibles tanto para las subcategorías A1, A2, D1 y D2.

Por otro lado, Quispe et al., (2019) en la investigación que realizaron evaluación de la concentración de los parámetros de (Cr, Cd y Pb) en los sedimentos superficiales en el río Coata, donde indican que en la cuenca baja del río Coata hay presencia de las concentraciones de Cd, Cr y Pb, sin embargo, solo el Cr está por encima de los límites establecidos en los estándares de calidad ambiental para suelos.

Se determina que los parámetros mencionados se pueden encontrar en cantidades que pueden superar los límites permisibles es en sedimentos mas no en cantidades elevados en aguas superficiales de estos ríos.

5.4. RELACIONES GEOQUÍMICAS DE ACUERDO CON LAS CONCENTRACIONES DE LOS IONES QUE PRESENTAN LAS AGUAS SUPERFICIALES DE LOS RÍOS COATA Y TOROCOCHA

5.4.1. Relaciones iónicas en las aguas superficiales de los ríos Coata y Torococha

Las relaciones iónicas nos permiten identificar los aspectos de los posibles procesos de disolución-precipitación, oxidación-reducción, intercambio iónico y procesos de contaminación agrícola, industrial, comercial, etc., que hayan podido modificar la composición química del agua de los ríos Coata y Torococha. Las relaciones iónicas se trabajan con datos en unidades meq/L.

Tabla 23. Datos de los iones expresado en unidades meq/L del agua de los ríos Coata y Torococha.

IONES	UNIDAD	ESTACIONES DE MONITOREO				
		TorcM1	TorcM2	CoatM3	CoatM4	CoatM5
Ca	meq/L	4.709	4.008	3.507	2.405	2.614
Mg	meq/L	4.603	4.903	4.103	3.503	4.303
K	meq/L	0.221	0.211	0.251	0.291	0.241
Na	meq/L	0.53	0.520	0.460	0.400	0.400
Cl ⁻	meq/L	12.086	9.289	7.691	7.791	7.891
CO ₃ ⁻²	meq/L	-	0.260	-	-	-
HCO ₃	meq/L	0.540	1.00	0.400	0.340	0.340
SO ₄ ⁻²	meq/L	1.161	3.332	1.251	0.750	0.750
NO ₃ ⁻	meq/L	6.599	7.399	4.199	0.500	0.400



5.4.1.1. Relación Mg/Ca

Normalmente las aguas continentales varía entre 0,3 y 1,5. Los valores aproximados a 1 indican la posible influencia de terrenos de formación carbonatada o con rocas serpentinitas. Valores superiores a 1 generalmente están relacionadas a zonas ricos en silicatos magnésicos de rocas como gabros y basaltos (Eleuterio & Fernando, 2018).

La composición de las mediciones de Ca con las concentraciones de Mg presentada en la figura 94, muestra una relación directa entre ambos parámetros, donde las aguas del río Torococha representadas por las muestras TorcM1 y TorcM2 indican elevadas concentraciones en ambos cationes. En el área de estudio estas aguas no discurren por rocas carbonatadas, serpentinitas, gabros ni por basaltos. Resultado de las concentraciones, es producto de la contaminación con el vertimiento de aguas residuales (municipal, industrial, comercial, agrícola, domésticos etc.) provenientes de la ciudad de Juliaca y de algunos sectores del distrito de Caracoto que están ubicados en la zona de estudio.

Mientras las aguas del río Coata representadas por las muestras CoatM3, CoatM4 y CoatM5. Las concentraciones que presenta los iones en la CoatM4 y CoatM5 se debe a la contaminación natural de origen químico por proceso de la disolución de rocas carbonatadas de la Fm. Ayabacas existente en la zona, donde tendría influencia en la composición iónica de Ca y Mg en las aguas del río Coata en el área de estudio. Por otro lado, la estación CoatM3 presenta valores iónicos similares que las aguas del río Torococha, debido que esta estación recibe las aguas que vierte este río, por ende, es influenciada con las concentraciones de iones que posee el río.

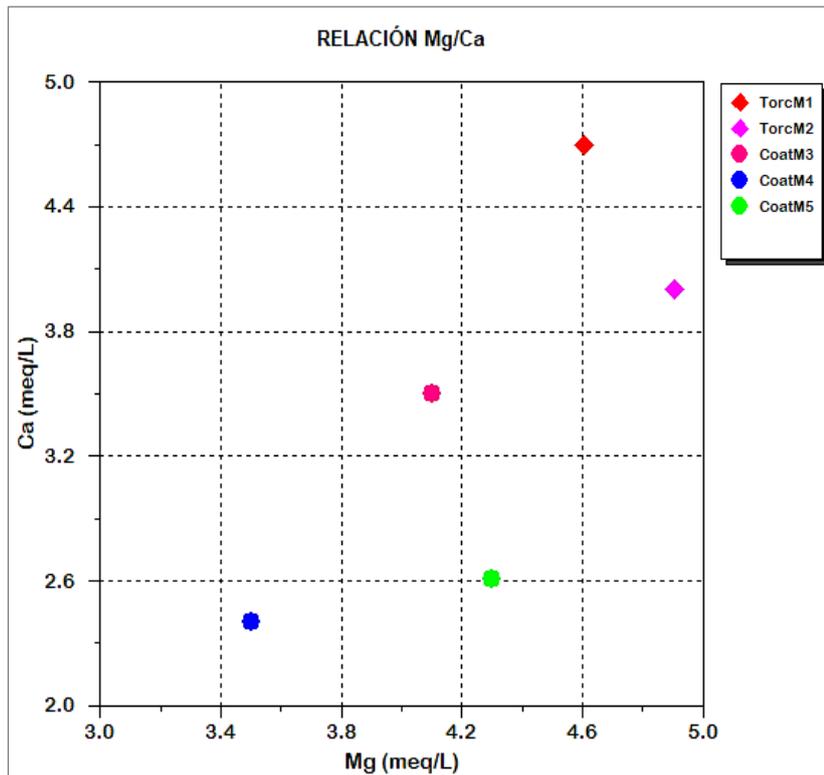


Figura 94. Relación entre los iones magnesio y calcio en las aguas superficiales de los ríos Coata y Torococha de la provincia de San Román - Puno.

5.4.1.2. Relación K/Na

En las aguas continentales puede variar entre 0.001 y 1, siendo lo más frecuente que se encuentren entre 0.004 y 0.3, debido a la fijación de K en el terreno, esta relación es menor en el agua que en la roca origen, tanto menor cuando más concentrada en sales está el agua (Eleuterio & Fernando, 2018). Esta relación nos informa el origen continental o marino: agua continental (0,001 a 1) - agua marina (0,02 a 0,025).

La composición de las mediciones de K con las concentraciones de Na presentada en la figura 95, muestra una relación directa entre ambos parámetros, donde efectivamente las aguas del río Torococha presentan concentraciones bajas de ambos iones debido a que estas aguas son consideradas salinas y duras. Algo similar ocurre en las aguas del río Coata ya que estas aguas también son consideradas duras.

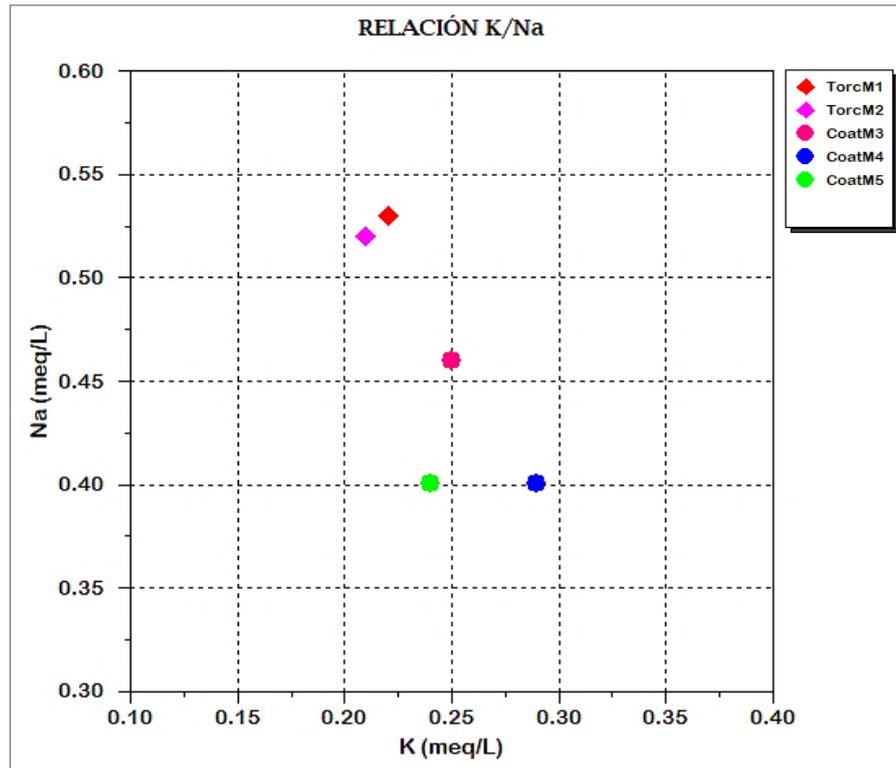


Figura 95. Relación entre los iones potasio y sodio en las aguas superficiales de los ríos Coata y Torococha.

5.4.1.3. Relación SO_4/Cl

La composición de las mediciones de SO_4 con las concentraciones de Cl presentada en la figura 96, muestra una relación directa entre ambos parámetros. Normalmente en aguas continental la relación es de 0,2 a 0,4. En aguas salinas el contenido de SO_4 tiende a ser constante y entonces tiene un interés similar al anterior. Lo mencionado se aplica en las aguas del río Coata en la estación CoatM3 donde esta zona recibe aguas del río Torococha.

Esta relación con las concentraciones elevadas de los iones en la zona de estudio indica la contaminación agrícola y vertimiento de las aguas industriales.

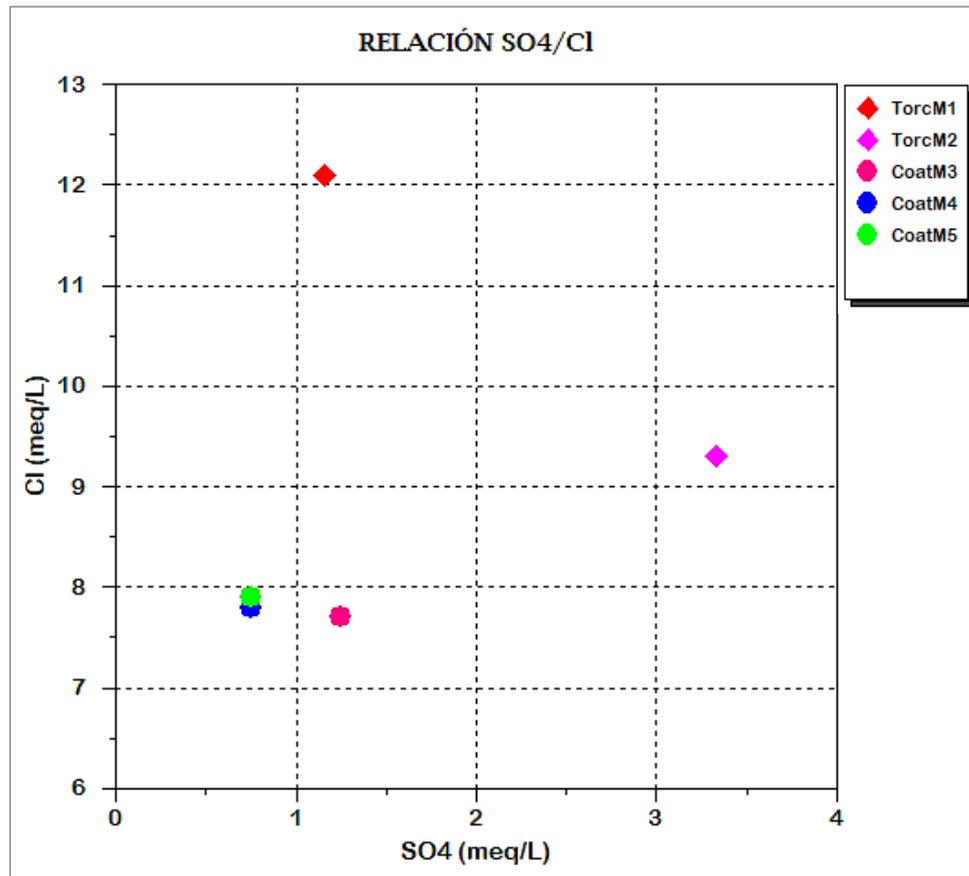


Figura 96. Relación entre los iones sulfato y cloruro en las aguas superficiales de los ríos Coata y Torococha.

5.4.1.4. Relación Na/Ca y Na/Mg

En la figura 97, se observa la clara relación que existe en las aguas superficiales de los ríos Coata y Torococha de la zona de estudio, entre el sodio y calcio, claro notar que hay una dependencia lineal entre ambos iones. Se presenta algo similar con respecto a la relación que existe entre sodio y magnesio. En ambas relaciones de los iones, la concentración mayor se presenta en las aguas de los ríos Torococha. Según a ello podemos decir que existe el proceso de intercambio, evolución espacial y temporal en las aguas superficiales de los ríos Coata y Torococha.

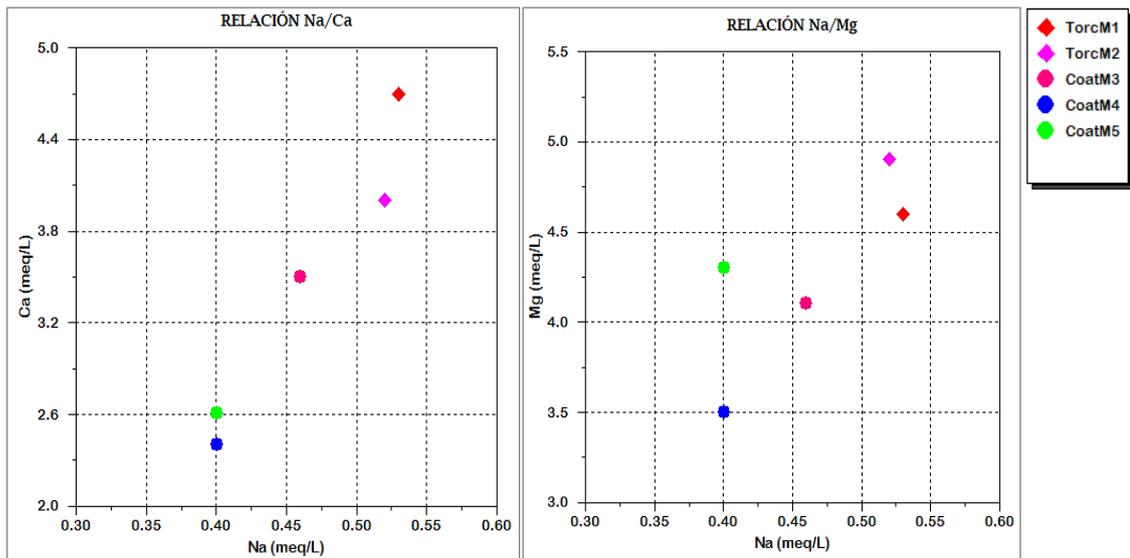


Figura 97. Relación entre los iones sodio y calcio – sodio y magnesio en las aguas superficiales de los ríos Coata y Torococha.

5.4.1.5. Relación Ca/Cl, Mg/Cl y Na/Cl

Las relaciones halladas entre los iones calcio y cloruro – magnesio y cloruro - sodio y cloruro, presentes en las aguas superficiales se ilustra en la figura 98. Las concentraciones mayores de iones presentan las aguas del río Torococha debido al vertimiento de las aguas residuales provenientes de la ciudad de Juliaca y de las zonas aledañas del río. Las concentraciones de los cationes Ca y Mg en las aguas del río Coata, aparte de la contaminación antropogénica aporta la influencia de la disolución de las rocas carbonatadas de la Fm. Ayabacas que se presenta en la zona de estudio.

Las relaciones de Ca/Cl, Mg/Cl y Na/Cl indican intercambio iónicos, disoluciones, origen del agua, etc, (Eleuterio & Fernando, 2018) efectivamente lo mencionado según los autores se aplica en el trabajo de investigación.

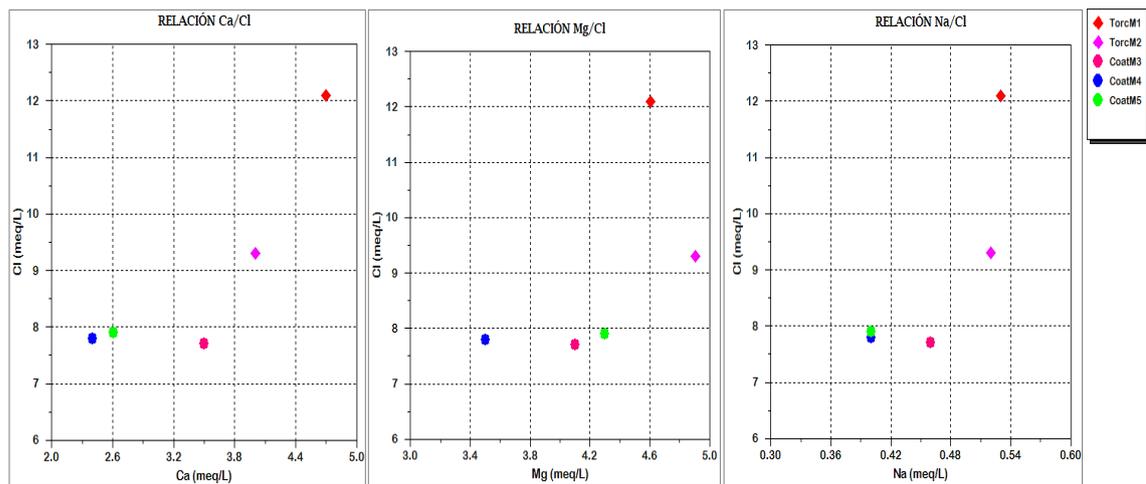


Figura 98. Relación entre los iones calcio y cloruro – magnesio y cloruro - sodio y cloruro en las aguas superficiales de los ríos Coata y Torococha.

5.4.1.6. Relación NO_3^-/Cl

La composición de las mediciones de NO_3^- con las concentraciones de Cl presentada en la figura 99, muestra una relación directa entre ambos parámetros, donde efectivamente las aguas del río Torococha presentan concentraciones mayores en ambos iones.

Normalmente las concentraciones mayores de cloruro (Cl) en el ambiente se encuentran en los océanos. Otras fuentes de cloruros corresponden a la disolución de depósitos de minerales que lo contienen, drenajes de agua de riego, escorrentía de terrenos agrícolas etc., (Eleuterio & Fernando, 2018). Con respecto a las concentraciones en nuestra zona de estudio se debe al vertimiento de aguas residuales esta ya sea (municipal, industrial, comercial, agrícola, domésticos etc.) que provienen de la ciudad de Juliaca y de las zonas aledañas a los ríos.

Por otro lado, las principales fuentes de las concentraciones naturales localizadas de nitratos son las rocas ígneas y la actividad volcánica, los niveles de concentraciones en aguas naturales varían dependiendo de la producción biológica, en lagos y arroyos oligotróficos, se espera que el nitrato sea menor que 0.01 mg/L, en lagos eutróficos

concentraciones superiores a los 0.2 mg/L, por otro lado cuerpos de aguas con niveles cobre 5mg/L muestran una clara señal de contaminación (Wilson & Marco, 2010).

De acuerdo a la teoría en el área de investigación no se presentan rocas ígneas ni actividad volcánica, por lo tanto, podemos confirmar que las concentraciones elevadas de NO_3 se deben a que las aguas del río Torococha son altamente contaminadas con el vertimiento de aguas residuales tanto domésticos e industriales lo cual contiene y transportan gran cantidad de nutrientes en forma de nitrógeno. Mientras las aguas del río Coata presentan concentraciones menores de Cl y NO_3 .

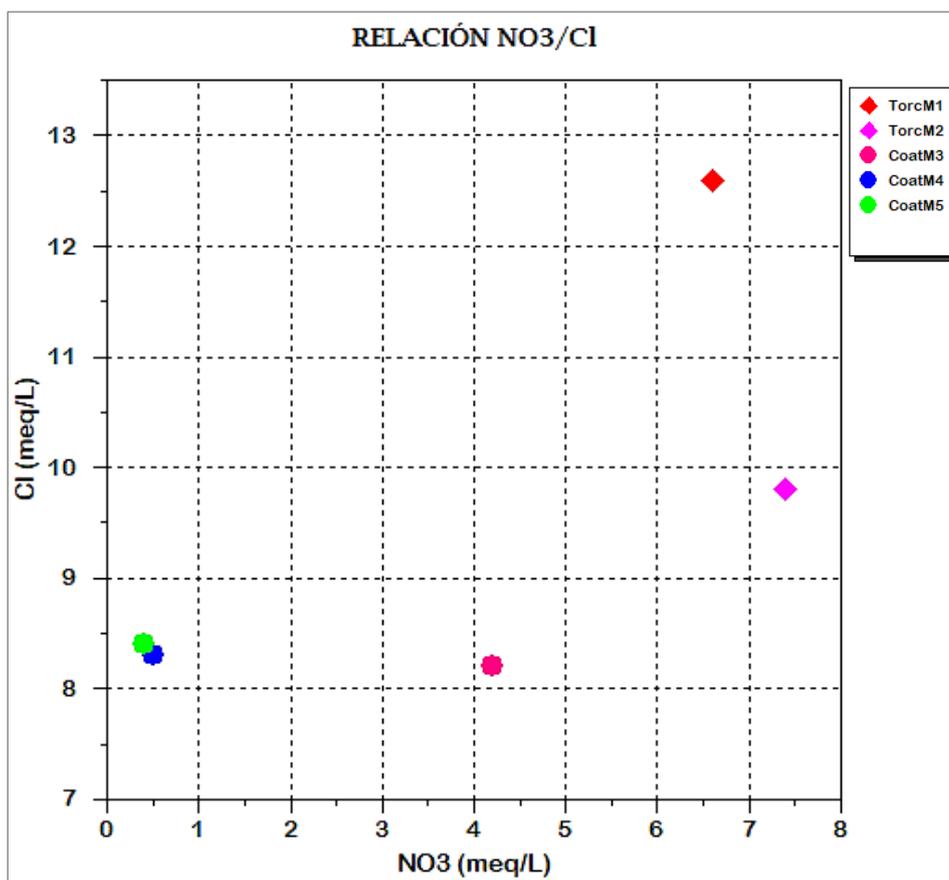


Figura 99. Relación entre los iones nitrato y cloruro en las aguas superficiales de los ríos Coata y Torococha.



VI. CONCLUSIONES

- Se identificó las concentraciones existentes de los principales parámetros fisicoquímicos de ambos ríos, respecto al río Torococha los valores máximos se presentan en el punto TorcM2: CE (2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$), TDS (1248 mg/L) y valor mínimo de OD (0.31 mg/L) en la estación TorcM1. Respecto al río Coata la muestra CoatM3 presenta valores máximos de CE (1880 $\mu\text{S}/\text{cm}$), TDS (941 mg/L) y valor mínimo de OD (2.91 mg/L), ambos ríos tienen el pH ligeramente alcalino que varía entre 7.58 a 8.39.
- De acuerdo a la caracterización química, existe una clara diferencia entre ambos ríos, se identificaron dos tipos de aguas, ya sea por causas naturales o antrópicas. La composición que presenta el río Torococha es “clorurada y/o sulfatada cálcica magnésica” y el agua del río Coata presenta un carácter “clorurada cálcica magnésica”. Se identificó que hay presencia de las concentraciones de los metales pesados como Al, As, Fe y Mn, en ambos monitoreos y en todas las estaciones de muestreo.
- Se determina que el agua superficial del río Torococha es de muy mala calidad, debido a que no todas las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos y metales pesados analizados cumplen los límites permisibles establecidos por la ECA-AGUA 2017 para las subcategorías evaluadas “A1, A2, D1, D2 y E2”. Con respecto al río Coata, en la estación CoatM3 sucede algo similar que algunas concentraciones de los parámetros exceden los límites permisibles para las subcategorías evaluadas, producto del vertimiento del río Torococha, excepto las estaciones CoatM4 y CoatM5 son aptos únicamente para las subcategorías: (D1) riego de vegetales y (D2) bebida de animales.
- Las relaciones geoquímicas con los iones Mg/Ca, SO_4/Cl , Na/Ca, Na/Mg, Ca/Cl, Mg/Cl, Na/Cl y NO_3/Cl permitió identificar los procesos que modificaron la composición química del agua, en donde las aguas del río Torococha presentan contaminación relacionadas a las actividades antrópicas de la zona, y las aguas del río Coata presentan contaminación antrópica y natural de origen químico por proceso de disolución de carbonatos el cual daría como resultado la concentración significativa de Ca^{+2} y Mg^{+2} en las aguas.



VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda ampliar los análisis de metales pesados por sedimentos en los ríos Coata y Torococha, con el fin de saber la concentración de precipitación de los metales pesados y el nivel de contaminación para suelos.
- Realizar más estudios de los cuerpos hídricos subterráneos de las zonas aledañas de los ríos Coata y Torococha, con el fin de saber la calidad de estas aguas. Así mismo, para obtener información de cuan influenciada se encuentran por los cuerpos hídricos superficiales.
- Realizar programas de concientización ambiental para los pobladores de la provincia de San Román, ya que la contaminación elevada en la cuenca baja del río Coata, se debe a la carencia de la práctica de educación ambiental por parte de los ciudadanos.
- Se recomienda la creación y ejecución de proyectos de saneamiento para los pobladores de la cuenca baja del río Coata, debido a que estas aguas superficiales y subterráneas no son aptos para el consumo humano.



VIII. REFERENCIAS

- Acosta, J., Rodriguez, I., Valencia, M., & Flores, A. (2011). "Metalogenia y Geología Económica por Regiones" Memoria sobre la geología económica de la región puno. *INGEMMET. Direccion De Recursos Minerales Y Energéticos Programa De Metalogenia, Proyecto Ge 33*.
- Aguilar, G., & Iza, A. (2009). *Gobernanza de Aguas Compartidas: Aspectos Juridicos e Institucionales*. 240.
- Aliaga, J. (2012). Producción de ovinos. *Universidad Nacional Agraria La Molina*, 24.
- Ambiental, C. (1997). Contaminación Ambiental. *Editorial Trillas*.
- Apaza, D. (2015). *Remocion de metales plomo Pb y Zinc de las aguas del río T'oro Q'ocha por precipitacion alcalina en la ciudad de Juliaca*. Repositorio institucional UNA - PUNO, 21.
- Árcega, I. (2010). *Caracterización hidrogeoquímica del acuífero del Valle de Villa Hidalgo, San Luis Potosí, Mexico*. IPICYT - Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C.
- Arellano, J. (2002). *Introducción a la ingeniería Ambiental*. México.
- Autoridad Nacional del Agua. (2018). Metodología para la determinación del Índice de Calidad de Agua ICA-PE Aplicado a los cuerpos de agua continentales superficiales. *Lima: ANA*.
- Axon up, S.f. (n.d.). Obtenido de. http://blog.axonup.com/?page_id=825
- Badillo, J. (1985). Curso básico de toxicología ambiental. *Instituto Nacional de Investigaciones Sobre Recursos Bióticos. Metepec.*, 205–229.
- Barceló, D., & López, M. J. (2008). Contaminación y calidad química del agua: el problema de los contaminantes emergentes. *Jornadas de Presentación de Resultados: El Estado Ecológico de Las Masas de Agua. Panel Científico-Técnico de Seguimiento de La Política de Aguas, Sevilla*, 27.
- Bautista, A., Arnaud, M., & Carrillo, R. (2011). Elementos Traza en Dos Áreas Agrícolas. *Terra Latinoamericana*, 29(2), 123–131.



- Bonorino, G., Limbozzi, F., Albouy, R., & Lexow, C. (2008). Movilidad de metales y otros elementos en el acuífero loessico regional del suroeste bonaerense. *Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas*, 33, 31–42.
- Buckman, H., & Brady, N. (1960). The nature and properties of soils (6th ed.). *New York, Mac Millan Co.: Vol. 6th ed* (p. 567).
- Capacoila, J. (2017). Evaluación de la Concentración de Metales Pesados en las Aguas Superficiales del Río Coata. *Repositorio Institucional UNAP*, 4(1), 110.
- Casilla, S. (2014). Evaluación de la calidad de agua en los diferentes puntos de descarga de la cuenca del río Suchez. *Universidad Nacional Del Antiplano*, 129.
- Castañé, M., Topalián, M., Cordero, R., & Salibián, A. (2003). Influencia de la especiación de los metales pesados en medio acuático como determinante de su toxicidad. *Revista de Toxicología*, 20, 13–18.
- Castro, G. (2007). Informe Final Diseño Monitoreo Frente Derrames De Hidrocarburos. *Gobierno de Chile, Santiago de Chile*. (p. 148).
- Chapman, D. V. (1996). *Water quality assessments: a guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring*. CRC Press.
- CNA. (2007). Diseño De Plantas Potabilizadoras Tipo De Tecnología Simplificada. In Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Ed.), *Manual De Agua Potable, Alcantarillado Y Saneamiento* (2007th ed.).
- Coila, F. (2022). Evaluación de la Calidad del Agua en la Zona de Confluencia de los Rios Torococha y Coata Caracoto - San Román - Puno. *Universidad Nacional del Altiplano - Facultad de Ingeniería Geológica y Metalúrgica*.
- Congreso de la República. (2005). Ley General del Ambiente. *El Peruano*.
- Constitución Política del Perú. (1993). Constitución Política del Perú de 1993. *Diario Oficial El Peruano*.
- Custodio, E., & Llamas, M. R. (1983). *Hidrología Subterránea* (p. 1884). Segunda Edición. Tomo II.
- Destéfanis, Georgina, Martínez, J., Gaiero, D., & Ribeiro, G. (2019). Geoquímica de las Aguas Superficiales y Efectos de la Meteorización En La Cuenca Alta-Media Del



- Río Ctlamochita. *Centro de Investigaciones En Ciencias de La Tierra (CICTERRA), CONICET Universidad Nacional de Córdoba, Avenida Vélez Sarsfield 1611, X5016DGA Córdoba, Argentina. 2Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Avenida, 12–14.*
- Dirección General de Salud Ambiental. (2009). *PARÁMETROS ORGANOLÉPTICOS. Grupo de Estudio Técnico Ambiental.*
- Drever, J. I. (1997). *The geochemistry of natural waters* (p. 436). Prentice Hall, Third edition.
- Eleuterio, E., & Fernando, R. (2018). *Aplicaciones Ambientales de la Hidrogeoquímica.* Universidad Nacional de La Pampa - Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires.
- Escobar, J. (2002). La Contaminacion de los Rios y sus Efectos en las Áreas Costeras y el Mar. *Santiago de Chile.* [http://www.pnuma.org/agua-miaac/Documentos/Curso Sub Regional Mesoamerica/Modulo 3 Institucionalidad, políticas, regulaciones y financiamiento/Contexto Internacional MIAAC/Doc 3.](http://www.pnuma.org/agua-miaac/Documentos/Curso%20Sub%20Regional%20Mesoamerica/Modulo%203%20Institucionalidad,%20políticas,%20regulaciones%20y%20financiamiento/Contexto%20Internacional%20MIAAC/Doc%203)
- Franco, L. F., Muñoz, P. T., & Garcia, F. G. (2016). Los Riesgos De Los Metales Pesados En La Salud Humana Y Animal. *Biotechnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial, 14(2), 145.* [https://doi.org/10.18684/bsaa\(14\)145-153](https://doi.org/10.18684/bsaa(14)145-153)
- García, C. (2013). Parámetros fisicoquímicos del agua. *Pv Albeitar, 4.*
- GESAMP. (2001). IMO/FAO/UNESCO–IOC/WMO/WHO/AIEA/UN/UNEP- Joint Group of Experts on the Scientific Aspects on Marine Environmental Protection. *Protecting the Oceans from Land-based Activities GESAMP Reports and Studies* (p. 162).
- Guillén, N., & Vásquez, R. (2009). Geoquímica Ambiental De Las Aguas Del Río Colca Entre Los Sectores De Chivay Y Tapay - Arequipa. *INGEMMET, Av. Canadá 1470, San Borja, Lima, Perú, foto 7.*
- Gutierrez, V. R. (2018). Evaluación de la calidad de agua del río Coata en la desembocadura del río Torococha utilizando el indice de calidad de agua del consejo canadiense CCME-WQI y el ICA–PE, Puno-2018. *Universidad Peruana Unión, 1–95.*



- Herrera, A. E. (2017). Determinación de los niveles de concentración de metales pesados en la Cuenca Mashcón – Cajamarca en los meses de Setiembre y Diciembre, 2016. *Depositorio de Universidad de Lambayeque*, 83 p.
- Humpiri, R. I. (2017). Concentración de los Metales Pesados y Propuestas de Recuperación en la Sub-Cuenca del Río Crucero. *Repositorio Institucional UNAP*, 119 p.
- Inquilla, C. (2020). Calidad Microbiológica y Fisicoquímica de las aguas del río Coata, Puno 2018. *Universidad Nacional Del Altiplano - Facultad de Ciencias Biológicas*, 1–137.
- INRENA, I. N. D. R. N. (2007). Evaluación de los recursos hídricos de las cuencas Cabanilla y Lampa. *Inventario de fuentes de agua superficial Perú: Vol. I* (p. 240).
- Jimenez, G., & Párraga, C. (2011). *Estudio de la movilización de metales pesados*. 1–51.
- Jiménez, R. (2017). *Introducción a la contaminación de suelos*. Ediciones Mundi-Prensa.
- Lillo, J. (2007). Técnicas Hidrogeoquímicas. *Tesis (En Opción Del Título de Máster Oficial En Hidrología y Gestión de Recursos Hídricos)*, Universidad Rey Juan Carlos, Madrid, España.
- López, J. (2012). Análisis del impacto Ambiental de las baterías Níquel Cadmio y la Factibilidad de Reciclaje. *universidad del azuay - facultad de Ciencias y Tecnología*.
- Mercedes, A. (1958). *La a v ena*. Ministerio de Aggricultura.
- MINAM. (2017). Normas Legales - Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua - Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. *El Peruano*, 10–19.
- Ministerio de Agricultura y Riego. (2009). Ley de los recursos hídricos: Ley N° 29338. *Autoridad Nacional Del Agua*, 40. <http://weekly.cnbnews.com/news/article.html?no=124000>
- Morel, F. M., & Hering, J. G. (1993). *Principles and Applications of Aquatic Chemistry* . John Wiley & Sons.
- OMS. (2011). *Guías para la calidad del agua de consumo humano: cuarta edición que incorpora la primera adenda*. Ginebra.
- Orozco, C., Pérez, A., Onzález, M. N., Rodríguez, F., & Alfayate, J. (2005).



- Contaminación ambiental. Una visión desde la química* (pp. 33–36). Thomson editoriales Spain paraninfo, S.A.
- Oyarzun, R., Higuera, P., & Cubas, P. (2010). Geoquímica Ambiental e Indicadores Geobotánicos. *GEMM / Proyecto de Innovación 123 - UCM - 2010*, 1–9.
- Palacios, O., De La Cruz, J., De La, N., Klinck, B. A., & Hawkins, M. P. (1993). Geología de la Cordillera Occidental y Altiplano al Oeste del Lago Titicaca Sur del Perú (Proyecto Integrado del Sur). *Serie A: Carta Geologica Nacional., Direccion de Geologia Regional - INGEMMET, Lima, Perú., Boletín N° 42*.
- Parque Cordillera. (2017). *Guía Flora y Fauna*.
- Pérez, C., Maurice, L., Ochoa, V., López, F., Egas, D., Lagane, C., & Besson, P. (2015). Determinación de elementos mayores en sedimentos provenientes de zonas afectadas por actividades petroleras en Ecuador. *ACI Avances En Ciencias e Ingenierías*, 7(2).
- Peris, M. (2006). *Estudio de metales pesados en suelos bajo cultivos hortícolas de la provincia de Castellón*. Universidad de Valencia, Facultad de Ingeniería.
- Perugachi, M. (2017). *Análisis de la Sustitución de Proteína Animal por Concentrado Proteico de Haba (Vicia faba)*.
- Polo, C., & Sulca, L. (2018). Metales Pesados: fuentes y su Toxicidad Sobre la Salud Humana. *Departamento Académico de Física Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann (Tacna - Perú), Facultad de Ciencias Departamento Académico de Biología Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann (Tacna - Perú), Facultad de Ciencias*, 2(1), 20–36.
- Pombo, M., Castro, L., & Barreiro, J. (2001). El crecimiento, el desarrollo y los elementos traza. *Anales Españoles de Pediatría*, 54, 63–71.
- Quispe, R., Belizario Quispe, G., Chui Betancur, H., & Huaquisto Caceres, S. (2019). Concentración de Metales Pesados: Cromo, Cadmio y Plomo en los Sedimentos Superficiales En El Río Coata, Perú. *Revista Boliviana De Química*, 36(2), 83–90.
- Reyes, C. (2019). Estudio de la hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea en la zona urbana de Zamora, Michoacán. *Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*.



- Rodier, J. (1989). Análisis del agua. In *Anales de Hidrología Médica* (Omega, Bar).
https://doi.org/10.5209/rev_ANHM.2011.v4.38615
- Rodriguez - Eugenio, N., McLaughlin, M., & Pennock, D. (2019). La contaminación del suelo: una realidad oculta. *Organizacion de las Naciones Unidas para la alimentacion y la agricultura*. Roma, FAO.
- Rodriguez, R., Sánchez, E., Choquehuanca, S., Fabian, C., & Castillo, B. (2020). Geología de los cuadrángulos de Puno (hojas 32v1, 32v2, 32v3, 32v4) y Ácora (hojas 32x1, 32x2, 32x3 y 32x4). *INGEMMET, Boletín, Serie L: Actualización Carta Geológica Nacional(Escala 1: 50 000)*, 2, 109 p., 8 Mapas, 109p., 8 mapas.
- Sánchez, F., & López, L. (2011). Análisis geoquímico (elementos mayores, menores, traza, $\delta^{13}C$, $\delta^{18}O$ y tierras raras) de microbialitas selectas provenientes de la Formación San Casiano (Triásico Medio - Superior, NE de Italia). *Boletín de La Sociedad Geológica Mexicana*, 63(3), 399–420.
- Tacuri, R. (2019). Determinacion de la calidad de agua de pozos artesianos y sus aspectos ambientales asociados, Juliaca, Puno, 2018. *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa - Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Naturales y Formales*.
- Tovar, A. (2011). Listado de Especies Cites Peruanas de Fauna Silvestre. *Ministerio del Ambiente* (Vol. 1).
- Urbina, P. (2015). *Análisis del efecto de la movilidad de elementos potencialmente tóxicos en jales de minas mediante el uso de bacterias promotoras del crecimiento*. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Valdivia, W., Chumpitaz, M., Bentes, A., & Anastacio, A. (2021). Geología del cuadrángulo de Juliaca (hoja 31v1, 31v2, 31v3, 31v4). *INGEMMET, Boletín, Serie L: Actualización Carta Geológica Nacional (Escala 1:50 000)*, 32, 119 p, 4 Mapas.
- Vázquez, I. (2009). *Estudio geoquímico de suelos y aguas como base para evaluar la contaminación : relación roca-suelo-agua*.
- Viladevall, M., Vaquer, R., & Pérez, D. (1995). Geoquímica aplicada al medio ambiente. *Acta Geologica Hispanica*, 30(1–3), 111–130.
- Villena, J. A. (2018). Calidad De Agua y Desarrollo Sostenible. *Revista Peruana de*



- Medicina Experimental y Salud Publica*, 35(2), 304–308.
- White, D. E. (1957). Magmatic, connate, and metamorphic waters. *Geological Society of America Bulletin*, 68(12), 1659–1682.
- Wilson, B., & Marco, B. (2010). Fisico-química de las aguas superficiales de la Cuenca del río Rincón, Península de Osa, Costa Rica. *UNED Research Journal*, 2(2), 157–179.



ANEXOS

- A. MAPAS.
- B. RESULTADOS DEL ANÁLISIS EMITIDO DE LOS LABORATORIOS
ALAB, LAS E INÍA-PUNO.
- C. CERTIFICADOS DE ACREDITACIÓN DE LOS LABORATORIOS.