

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE CIENCIAS



**“INFLUENCIA DE LA CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL DEL
RÍO HUACANANE SOBRE EL RÍO COSCORE Y EL RÍO
TUMILACA MOQUEGUA - PERÚ”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE:
INGENIERO AMBIENTAL**

GINO ARMANDO IGLESIAS PORTAL

LIMA – PERÚ

2020

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE CIENCIAS

**“INFLUENCIA DE LA CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL DEL
RÍO HUACANANE SOBRE EL RÍO COSCORE Y EL RÍO
TUMILACA MOQUEGUA - PERÚ”**

Presentada por

GINO ARMANDO IGLESIAS PORTAL

Tesis para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

Sustentada y aprobada por el siguiente jurado:

Mg. Sc Wilfredo Celestino Baldeón Quispe
PRESIDENTE

Mg. Quím. Mary Flor Cesaré Coral
MIEMBRO

Mg. Sc Víctor Augusto Caro Sánchez
MIEMBRO

Ph.D. Lizardo Visitación Figueroa
ASESOR

Ing. Franz Newton García Huazo
Co - ASESOR

*Dedicado a la persona por la que estoy aquí, quien,
frente a las adversidades de la vida, pudo sacar
adelante sola a su familia. Gracias, mamá.*

AGRADECIMIENTOS

Al Ph.D. Lizardo Visitación, por haber confiado en mis capacidades académicas para la elaboración de esta investigación.

Al MINEM, OEFA y GORE Moquegua; y a la Compañía Anglo American S.A.A, por haberme proporcionado amablemente la información ambiental de sus actividades, con el fin de contribuir a la investigación dentro del territorio nacional.

Y, a cada uno de mis compañeros de la carrera, que me brindaron soporte académico y emocional frente a las adversidades que se presentaron durante la elaboración de la investigación.

ÍNDICE GENERAL

Resumen

Abstract

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA	3
	2.1 Antecedentes	3
	2.1.1 Estudios previos	3
	2.1.2 Distrito de Torata	4
	2.1.3 Actividad minera – Proyecto Quellaveco.....	4
	2.2 Marco Legal	6
	2.2.1 Ley General del Ambiente	6
	2.2.2 Ley general de recursos hídricos	6
	2.2.3 ECA de agua.....	7
	2.2.4 Clasificación de los cuerpos de agua.....	8
	2.3 Geología.....	11
	2.3.1 Geología Regional.....	11
	2.3.2 Geología Local	11
	2.4 Hidrología	13
	2.4.1 Cuenca del río Asana.....	15
	2.4.2 Cuenca del río Charaque	15

2.4.3 Cuenca del río Capillune	15
2.4.4 Cuenca del río Huacanane.....	15
2.4.5 Cuenca del río Coscore	16
2.4.6 Cuenca del río Tumilaca	16
2.5 Calidad del agua.....	18
2.5.1 Parámetros <i>In-situ</i>	18
2.5.2 Parámetros <i>Ex-situ</i>	19
2.5.3 Indicadores biológicos.....	20
2.6 Evaluación espacial y temporal de la calidad de agua.....	20
2.6.1 Índices de Calidad de Agua ICA's.....	20
2.6.2 Índice de Calidad de Agua canadiense CCME	20
2.6.3 Índice de Calidad de Agua ICA-PE (ANA)	21
2.6.4 Índice de Metales	23
2.7 Evaluación hidroquímica	24
2.7.1 Diagrama de Piper	25
2.7.2 Diagrama de Stiff	26
2.7.3 Diagrama de Schoeller-Berkaloff.....	28
2.7.4 Diagrama de Stabler.....	29
2.8 Evaluación de los procesos hidrogeológicos influyentes en la calidad de agua superficial.....	30

2.8.1 Relaciones de Iones Específicos Mg/Ca vs Mg/Na	30
2.8.2 Diagrama de Gibbs.....	31
2.9 Modelo de dispersión de contaminantes software CORMIX	33
2.10 Evaluación del riesgo ecotoxicológico	34
2.10.1 Evaluación de los efectos: Estimación del PNEC.....	35
2.10.2 Evaluación de la exposición: Estimación del PEC.....	36
2.10.3 Cuantificación del riesgo.....	36
2.11 Análisis Estadístico: Coeficientes de Correlación de Pearson y Análisis por Componentes Principales.....	36
2.11.1 Coeficiente de correlación de Pearson (p).....	36
2.11.2 Análisis por componentes principales.....	37
2.11.3 Diseño de un Análisis Factorial	38
III. METODOLOGÍA.....	40
3.1 Descripción del Área de Estudio	40
3.2 Parámetros considerados en el monitoreo	46
3.3 Materiales.....	47
3.4 Métodos y procedimiento	47
3.4.1 Evaluación espacial y temporal de la calidad del agua	47
3.4.2 Evaluación hidroquímica.....	50

3.4.3 Evaluación de los procesos hidrogeológicos influyentes en la calidad de agua superficial	52
3.4.4 Modelado de mezcla de cursos de agua mediante Cormix	53
3.4.5 Evaluación del riesgo ecotoxicológico.....	57
3.4.6 Análisis Estadístico: Coeficientes de Correlación de Pearson y Análisis por Componentes Principales	58
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	62
4.1 Evaluación espacial y temporal de la calidad del agua.....	62
A. Indicador de Calidad de Agua ICA-PE.....	62
B. Índice de Metales IPA y IM.....	68
4.2 Evaluación Hidroquímica	78
4.3 Evaluación de los procesos hidrogeológicos influyentes en la calidad hidroquímica del agua superficial	105
4.4 Modelado de mezcla de cursos de agua mediante Cormix	113
4.5 Evaluación del Riesgo Ecotoxicológico	124
4.6 Análisis Estadístico: Coeficientes de Correlación de Pearson y Análisis por Componentes Principales.....	129
V. CONCLUSIONES.....	148
VI. RECOMENDACIONES	150
VII. BIBLIOGRAFÍA	151
VIII. ANEXOS	157

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Rangos de distribución del ICA-PE	23
Tabla 2: Categorías del índice de polución de agua.	24
Tabla 3. Punto de Confluencia.	40
Tabla 4. Centros Poblados Cercanos al área de confluencia. Fuente: INEI (2020)	41
Tabla 5 : Puntos de monitoreo.....	44
Tabla 6: Parámetros monitoreados.	46
Tabla 7. Calificación ICA-PE.....	49
Tabla 8. Calificación IPA	49
Tabla 9. Criterios de aplicación prueba KMO.....	60
Tabla 10. Evaluación ICA-PE global	62
Tabla 11. Evaluación ICA-PE por temporadas y anual durante el período 2011-2015.	63
Tabla 12. Evaluación ICA-PE global.	66
Tabla 13. Evaluación ICA-PE por temporadas y anual durante el período 2011-2015	66
Tabla 14. Índice de Metales IPA global.	69
Tabla 15. Índice de Metales IPA temporada seca.	69
Tabla 16. . Índice de Metales IPA temporada húmeda.....	70
Tabla 17. Índice de Metales IM global.....	71
Tabla 18. Índice de Metales IM temporada seca.	72
Tabla 19.Índice de Metales IM temporada húmeda.	72
Tabla 20.Índice de Metales IPA global.	74
Tabla 21. Índice de Metales IPA temporada seca.	74
Tabla 22.Índice de Metales IPA temporada húmeda.....	75
Tabla 23. Índice de Metales IM global.....	76

Tabla 24. Índice de Metales IM seca.....	76
Tabla 25. Índice de Metales IPA temporada húmeda.....	77
Tabla 26. Variaciones de caudal en CAP-1 y CAP-2 entre las temporadas 2011-2015....	108
Tabla 27. Datos tomados en la zona de confluencia el 27 de abril de 2019.....	113
Tabla 28. Resultados del modelo de mezcla del río Huacanane y Coscore, respecto al parámetros de Fluoruros.....	118
Tabla 29. Resultados del modelo de mezcla del río Huacanane y Coscore, respecto al parámetros de Boro.....	119
Tabla 30. Resultados del modelo de mezcla del río Huacanane y Coscore, respecto al parámetros de Manganeso	121
Tabla 31. Comparación de concentraciones entre datos simulados y datos reales tomados aguas abajo del punto de mezcla de los ríos Huacanane y Coscore.	122
Tabla 32. CL50 de estudios previos.	125
Tabla 33. Datos PNEC obtenidos (valor superior para <i>Oncorhynchus Mykiss</i> e inferior para <i>Daphnia Magna</i>).	125
Tabla 34. Datos PEC obtenidos del modelo CORMIX 1.....	126
Tabla 35. Datos PEC reales tomados en la zona de confluencia el 27 de abril de 2019. ..	126
Tabla 36. Datos PEC reales promedios tomados en la zona de confluencia 2018-2019. PMH: promedio mensual temporada húmeda, PMS: promedio mensual temporada seca, PM: promedio anual	127
Tabla 37. Riesgo ambiental obtenido con información base del modelo CORMIX 1. (valor superior para <i>Oncorhynchus Mykiss</i> e inferior para <i>Daphnia Magna</i>).....	127
Tabla 38. Riesgo ambiental obtenido de datos de campo reales tomados en la zona de confluencia el 27 de abril de 2019. (valor superior para <i>Oncorhynchus Mykiss</i> e inferior para <i>Daphnia Magna</i>)	128

Tabla 39. Riesgo ambiental obtenido de datos de campo reales tomados en la zona de confluencia 2018-2019. PMH: promedio mensual temporada húmeda, PMS: promedio mensual temporada seca, PM: promedio anual. (valor superior para <i>Oncorhynchus Mykiss</i> e inferior para <i>Daphnia Magna</i>)	128
Tabla 40. Numero de parámetros a considerar en puntos de monitoreo aguas arriba.	130
Tabla 41. Resultados del Test KMO para los puntos de monitoreo correspondiente.	131
Tabla 42. Valores propios CH-3.....	132
Tabla 43. Valores propios CAP-1.	132
Tabla 44. Valores propios CAP-2	132
Tabla 45. Correlación entre componentes y variables CH-3.....	133
Tabla 46. Correlación entre componentes y variables CAP-1.....	135
Tabla 47. Correlación entre componentes y variables CAP-2.....	137
Tabla 48. Numero de parámetros a considerar en puntos de monitoreo zona de confluencia.....	139
Tabla 49. Resultados del Test KMO para los puntos de monitoreo correspondiente.	140
Tabla 50. Valores Propios CAP-3.	141
Tabla 51. Valores Propios TUM-3.	141
Tabla 52. Correlación entre componentes y variables CAP-3.....	143
Tabla 53. Correlación entre componentes y variables TUM-3.	145

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación general del proyecto minero.	5
Figura 2. Estándares de Calidad Ambiental de aguas para la Categoría 3	9
Figura 3. Estándares de Calidad Ambiental de aguas para la Categoría 3. (a): Para aguas claras. Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural). (b): Después de filtración simple. (c): Para el riego de parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales, sólo aplican los parámetros microbiológicos y parasitológicos del tipo de riego no restringido. Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.	10
Figura 4. Geología local del área de estudio.	12
Figura 5. Cuencas de Interés para el presente estudio.	14
Figura 6. Red hidrográfica de la zona de estudio.	17
Figura 7. Infograma de la información necesaria para obtener el ICA-PE.	21
Figura 8. Interpretación del diagrama de Piper.	25
Figura 9. Representación del diagrama de Piper.	26
Figura 10. . Método de elaboración del diagrama de Stiff.	27
Figura 11. Tipos de agua. Fuente:	27
Figura 12. Diagrama de Stiff.	28
Figura 13. Diagrama de Schoeller – Berkloff.	29
Figura 14. Diagrama de Stabler del promedio de muestreos.	29
Figura 15. Relaciones de iones.	31
Figura 16. Interpretación del Diagrama de Gibbs.	32
Figura 17. Diagrama de Gibbs.	32

Figura 18. Mapa de Ubicación del Punto de Confluencia.	40
Figura 19. Mapa donde se observa la ubicación de los centros poblados cercanos a la zona de estudio.	42
Figura 20. Ubicación de los puntos iniciales de monitoreo.	43
Figura 21. Área de estudio.	44
Figura 22. Red de puntos de monitoreo y sus cuencas respectivas.	45
Figura 23. Interfaz de entrada.	50
Figura 24. Generación de Gráficos.	52
Figura 25. Interfaz de entrada de Cormix.	54
Figura 26. Simulación de mezcla y datos relevantes marcados con naranja.	54
Figura 27 (continuación). Simulación de mezcla y datos relevantes marcados con naranja.....	55
Figura 28. Selección de datos.	59
Figura 29. Procedimiento a seguir.	59
Figura 30. Tablas y Gráficos obtenidos.	61
Figura 31. Evaluación ICA-PE global.	63
Figura 32. Evaluación ICA-PE temporada seca.	64
Figura 33. Evaluación ICA-PE temporada húmeda.	64
Figura 34. Evaluación ICA-PE global.	66
Figura 35. Evaluación ICA-PE temporada seca.	67
Figura 36. Evaluación ICA-PE temporada seca.	67
Figura 37. Diagrama de Piper para P-12 durante las temporadas 2011-2015.	79
Figura 38. Diagrama de Piper para CH-3 durante las temporadas 2011-2015.	80
Figura 39. Diagrama de Schoeller-Berkaloff para P-12 durante las temporadas 2011-2015.....	81

Figura 40. Diagrama de Schoeller-Berkaloff para CH-3 durante las temporadas 2011-2015.	82
Figura 41. Diagrama de Stiff para P-12 durante las temporadas 2011-2015.	83
Figura 42. Diagrama de Stiff para CH-3 durante las temporadas 2011-2015.....	84
Figura 43. Diagrama de Stabler para P-12 durante las temporadas 2011-2015.	85
Figura 44. Diagrama de Stabler para CH-3 durante las temporadas 2011-2015.....	85
Figura 45. Diagrama de Piper para CAP-1 durante las temporadas 2011-2015.	87
Figura 46. Diagrama de Piper para CAP-2 durante las temporadas 2011-2015.	88
Figura 47. Diagrama de Schoeller-Berkaloff para CAP-1 durante las temporadas 2011-2015.....	89
Figura 48. Diagrama de Schoeller-Berkaloff para CAP-2 durante las temporadas 2011-2015.	90
Figura 49. Diagrama de Stiff para CAP-1 durante las temporadas 2011-2015.....	91
Figura 50. Diagrama de Stiff para CAP-2 durante las temporadas 2011-2015.....	92
Figura 51. Diagrama de Stabler para CAP-1 durante las temporadas 2011-2015.....	93
Figura 52. Diagrama de Stabler para CAP-2 durante las temporadas 2011-2015.....	93
Figura 53. Diagrama de Piper para COS-2, CAP-3 y TUM-3 en las temporadas 2018-2019.....	96
Figura 54. Diagrama de Schoeller-Berkaloff para COS-2, CAP-3 y TUM-3 en las temporadas 2018.	98
Figura 55. Diagrama de Schoeller-Berkaloff para COS-2, CAP-3 y TUM-3 en las temporadas 2019.	99
Figura 56. Diagrama de Stiff para COS-2, CAP-3 y TUM-3 en las temporadas 2018.....	100
Figura 57. Diagrama de Stiff para COS-2, CAP-3 y TUM-3 en las temporadas	

2018.	101
Figura 58. Diagrama de Stabler para COS-2, CAP-3 y TUM-3 en las temporadas	
2018.	102
Figura 59. Diagrama de Stabler para COS-2, CAP-3 y TUM-3 en las temporadas	
2019.	103
Figura 60. Gráficos Mg/Ca vs Mg/Na para P-12 y CH-3 en las temporadas	
2011-2015.	106
Figura 61. Diagramas de Gibbs para P-12 (superior) y CH-3 (inferior) en las	
temporadas 2011-2015.	106
Figura 62. Gráficos Mg/Ca vs Mg/Na para CAP-1 y CAP-2 en las temporadas	
2011-2015.	107
Figura 63. Diagramas de Gibbs para CAP-1 y CAP-2 en las temporadas	
2011-2015.	108
Figura 64. Gráficos Mg/Ca vs Mg/Na para COS-2, CAP-3 y TUM-3 en las	
temporadas 2011-2015.	110
Figura 65. Diagramas de Gibbs para COS-2, CAP-3 y TUM-3 en las temporadas	
2011-2015.	112
Figura 66. Vista angular de la simulación de dispersión de Fluoruros al mezclarse	
el río Huacanane con el río Coscore, en proporción de 10 a 1 (Eje Y respecto a	
Eje X).....	118
Figura 67. Vista superior de la simulación de dispersión de Fluoruros al mezclarse	
el río Huacanane con el río Coscore, en proporción de 10 a 1 (Eje Y respecto a	
Eje X).....	119
Figura 68. Vista angular de la simulación de dispersión de Boro al mezclarse el río	
Huacanane con el río Coscore, en proporción de 10 a 1 (Eje Y respecto a	

Eje X).	120
Figura 69. Vista superior de la simulación de dispersión de Boro al mezclarse el río Huacanane con el río Coscore, en proporción de 10 a 1 (Eje Y respecto a Eje X).	120
Figura 70. Vista angular de la simulación de dispersión de Manganeso al mezclarse el río Huacanane con el río Coscore, en proporción de 10 a 1 (Eje Y respecto a Eje X).....	121
Figura 71. Vista superior de la simulación de dispersión de Manganeso al mezclarse el río Huacanane con el río Coscore, en proporción de 10 a 1 (Eje Y respecto a Eje X).....	122
Figura 72. Gráficos obtenidos de CH-3, CAP-1 y CAP-2.	132
Figura 73. Gráficos obtenidos de CAP-3 y TUM-3.	142
Figura 74 (continuación). Gráficos obtenidos de CAP-3 y TUM-3.	142

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Modelo de Cormix de Fluoruros.....	157
Anexo 2.. Modelo de Cormix de Boro.	158
Anexo 3. . Modelo de Cormix de Manganeso.	159

RESUMEN

En la presente investigación se evaluó la influencia de la calidad del agua superficial del río Huacanane al confluir con el curso de agua del río Coscore y el río Tumulaca, ubicados en la región de Moquegua, en Perú. Esta evaluación constó de 3 etapas. La primera etapa fue de una evaluación de calidad de agua de forma temporal y espacial, tomando como referencia indicadores de calidad de agua y metales, una evaluación hidroquímica y una evaluación de la influencia hidrogeológica en las mismas. En la segunda etapa se evaluó la interacción de ambos cursos de agua en la zona de confluencia y su dinámica a pocos de cientos de metros aguas abajo. Para esta etapa se utilizó el modelo de simulación de dispersión de parámetros CORMIX y una evaluación del riesgo ambiental ecotoxicológico, con especies de la zona de estudio. Finalmente, se utilizó el método estadístico del análisis por componentes principales (ACP), para brindar soporte a los resultados obtenidos de los análisis anteriores.

Los resultados obtenidos de la primera etapa evidenciaron que la calidad de agua superficial de ambos ríos confluyentes difería considerablemente. El curso de agua de los ríos Coscore, Asana y Charaque presentó una calidad de agua con mayor grado de aceptación que el curso de agua de los ríos Huacanane y Tumulaca; los indicadores de agua superficial e índices de metales reflejaron esto. La evaluación hidroquímica e influencia hidrogeológica también mostraron resultados diferenciados en ambos cursos de agua, pero estos análisis permitieron mostrar que la principal fuente de variación de calidad sería la naturaleza volcánica de la geología local y la propia actividad volcánica de la zona sur del país, además de la influencia antropogénica a través de la escorrentía en campos de cultivo y otros efluentes.

Los resultados obtenidos en la segunda etapa mostraron que a pesar de la poca precisión del modelo de dispersión de parámetros CORMIX, se puede obtener información relevante acerca de la dilución de los parámetros de alta concentración que se incorporan al curso del río Coscore y Tumulaca, sobretodo porque resulta útil para realizar complementariamente la evaluación del riesgo ecotoxicológico, la cual arrojó que existe un alto riesgo de toxicidad para algunas especies locales por los altos niveles de boro y fluoruros en el río Huacanane.

Finalmente, la evaluación estadística ACP brindó un soporte concordante con lo discutido. Todo ello nos llevó a concluir que existe una influencia ambiental en la calidad superficial del río Coscore y Tumulaca cuando se incorpora el curso de agua del río Huacanane.

Palabras clave: calidad de agua superficial, análisis hidroquímicos, boro, fluoruros

ABSTRACT

In the present research the influence of the quality of the surface water of the Huacanáne river was evaluated when it converged with the water course of the Coscore river and the Tumilaca river, located in the Moquegua region, in Peru. This evaluation consisted of 3 stages. The first stage was to evaluate water quality temporarily and spatially, taking water and metal quality indicators as a reference, a hydrochemical evaluation and an evaluation of the hydrogeological influence on them. In the second stage, the interaction of both watercourses in the confluence zone and its dynamics a few hundred meters downstream were evaluated. For this stage, CORMIX parameter dispersion simulation model and an ecotoxicological environmental risk assessment were used, with species from the study area. Finally, the statistical method of principal component analysis was used to support the results obtained from the previous analyzes.

The results obtained from the first stage showed that the surface water quality of both confluent rivers differed considerably. The watercourse of the Coscore, Asana and Charaque rivers presented a quality of water with a higher degree of acceptance than the watercourse of the Huacanáne and Tumilaca rivers; Surface water indicators and metal indices reflected this. The hydrochemical evaluation and hydrogeological influence also showed differentiated results in both water courses, but these analyzes allowed to show that the main source of quality variation would be the volcanic nature of local geology and the volcanic activity of the southern part of the country, in addition of anthropogenic influence through runoff in crop fields and other effluents.

The results obtained in the second stage showed that despite the poor precision of the CORMIX parameter dispersion model, relevant information can be obtained about the dilution of the high concentration parameters that are incorporated into the Coscore and Tumilaca river courses, especially because it is useful to carry out the ecotoxicological risk assessment in addition, which showed that there is a high risk of toxicity for some local species due to the high levels of boron and fluorides in the Huacanáne river.

Finally, the ACP statistical evaluation provided consistent support with what was discussed. All this led us to conclude that there is an environmental influence on the surface quality of the Coscore and Tumilaca rivers when the Huacanáne river watercourse is incorporated.

Key words: surface water quality, hydrochemical analysis, boron, fluorides

I. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso natural primordial para el desarrollo humano. A nivel global, existen reservas de agua dulce que pueden cubrir las necesidades actuales de la población mundial. Sin embargo, existe escasez en muchos países debido a la ineficiente gestión de los recursos hídricos por parte de las autoridades. Esta escasez se agudiza debido a la deficiencia en la calidad de agua e influye en otros problemas globales, como la seguridad alimentaria. Debido a esto, desde autoridades locales, gobiernos regionales y centrales, hasta organizaciones supranacionales, se han planteado como objetivo garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua, y el saneamiento para todos. Esto implica garantizar la buena calidad del agua dentro de sus cursos naturales.

A raíz de ello, es de vital importancia conocer la calidad del agua de los ríos en sus cursos naciotes. También, es necesario conocer las fuentes que alteran su calidad, identificar las condiciones naturales que podrían generar su deterioro y las actividades que se realizan, con el fin de implementar las medidas apropiadas para garantizar el buen aprovechamiento de este recurso.

A la fecha, existen muchos estudios que evalúan la calidad de agua de distintos ríos y quebradas de zonas andinas. Sin embargo, la mayor parte de estos estudios se basan en el cumplimiento de normativas ambientales. No se realizan estudios de mayor complejidad que complementen estos análisis, como evaluaciones de interacciones entre los cursos de agua y el material geológico local, e influencias de afluentes. El conocimiento de esta información permite mostrar la extensión real del problema. Estas evaluaciones y análisis mencionados son las que se abarcan en la presente investigación.

Al finalizar este proceso de evaluación, se tendrá información de la calidad de agua de forma más extensa, de manera que los tomadores de decisiones podrán gestionar adecuadamente el manejo de este recurso hídrico y otros recursos relacionados. Además, en un futuro, se podrá conocer el impacto de las actividades posteriores que se realicen en la zona, ya sea negativa o positivamente.

En síntesis, el objetivo principal de la presente investigación es evaluar la influencia de la calidad del agua superficial del río Huacaname cuando incide sobre el curso de agua del río Coscore y el río Tumulaca, en la región de Moquegua – Perú. Respecto a los objetivos específicos, estos fueron los siguientes:

- ❖ Realizar la evaluación espacial y temporal de la calidad del agua en base a los Índices de Calidad de Agua (ICA-PE) y los Índices de Metales, en los ríos Capillune, Huacaname, Coscore, Charaque, Asana y Tumulaca en temporada húmeda, seca y global.
- ❖ Realizar el análisis hidroquímico del agua de los ríos Capillune, Huacaname, Coscore, Charaque, Asana y Tumulaca mediante los diagramas de Piper, Stiff, Schoeller-Berkaloff y Diagrama de Stabler.
- ❖ Determinar los procesos hidrogeológicos influyentes sobre el agua superficial mediante la relación de iones específicos Mg/Ca vs Mg/Na, así como los diagramas de Gibbs, en los ríos Capillune, Huacaname, Coscore, Charaque, Asana y Tumulaca
- ❖ Evaluar la influencia en la calidad de agua del río Huacaname sobre el río Coscore y el río Tumulaca mediante la aplicación de un modelo de dispersión de contaminantes software CORMIX
- ❖ Evaluar el efecto ecotoxicológico generado por la influencia del río Huacaname cuando descarga en el río Coscore y el río Tumulaca

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Antecedentes

2.1.1 Estudios previos

En el 2016 realizó un estudio similar al presente en el que buscaba determinar la medida en que el agua contaminada del río Mariño influye en la calidad del río Pachachaca, todo esto ubicado en Abancay, Apurímac, Perú. En este caso, se muestreó 3 puntos estratégicos en el curso de ambos ríos y se tomó medida de once parámetros: turbidez, sólidos totales disueltos, sólidos suspendidos totales, potencial de hidrógeno, conductividad, aceites y grasas, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, oxígeno disuelto, coliformes fecales y coliformes termotolerantes; todas estas tomadas entre febrero, junio y setiembre de 2016. Cabe resaltar que en esta tesis no se hace ningún análisis hidroquímico ni se aplica algún modelado para conocer la dispersión de contaminantes, solo se compara los datos con el ECA agua 2015. Finalmente, Triveño (2016) demuestra que “el río Mariño sí influye en la calidad del río Pachachaca, principalmente en los siguientes parámetros: la turbidez, sólidos totales disueltos, conductividad, aceites y grasas, demanda química de oxígeno, coliformes fecales y coliformes termotolerantes”

En el 2016 se realizó también otro estudio similar pero solo enfocándose en la calidad del agua del río Caca, ubicado en la región Lima. Este río está ubicado en la zona sureste de la región Lima, en la provincia de Yauyos. Sirve como fuente bebida de animales y para la actividad agrícola. Por ellos, es importante conocer las características fisicoquímicas del agua en esta zona. El monitoreo se realizó en 6 estaciones, tomando parámetros in situ y en laboratorio. Los parámetros tomados en campos fueron: temperatura, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y pH; y los tomados en laboratorio fueron: demanda química de oxígeno, sólidos totales, sedimentables, suspendidos y disueltos, cloruros, bicarbonatos, nitratos, sulfatos, carbonatos, sodio, calcio, aluminio, cadmio, cobre, hierro, magnesio, plomo y cinc. Finalmente, y luego de comparar con la normativa ambiental vigente a la fecha de la investigación, Teves (2016) llegó a la conclusión de que los parámetros estudiados no

sobrepasan los niveles establecidos. Además, y como referencia a esta investigación, se menciona que este río tiene influencia por el río Lincha, que funge de contribuyente.

2.1.2 Distrito de Torata

El distrito de Torata se encuentra ubicado a 2195 msnm y cuenta con una superficie de 793.37 km². La densidad de población es de 8.3 habitantes por kilómetro cuadrado. Torata tiene una población de 6591 habitantes según datos del INEI. La variedad de zonas y micro climas son diversas, pues sus características de clima son de costa y sierra ya que la altura climática va desde los 1100 msnm (Pampas Hawai) hasta los 4400 msnm (anexo Asana). El distrito está ubicado entre tres cuencas y dos subcuencas (río Sajena, río Asana). En el distrito se suele practicar la agricultura bajo riego. También, en algunos anexos, se dedican a la crianza de animales mayores como ganado vacuno, ovino, caprino y equino (Municipalidad Distrital de Torata, 2018).

2.1.3 Actividad minera – Proyecto Quellaveco

En esta zona está ubicada el proyecto minero Quellaveco, de acción mayoritaria por parte de la compañía minera AngloAmerican, en sociedad con la corporación Mitsubishi. Este es uno de los yacimientos con mayor cantidad de cobre en el mundo. Este proyecto “tiene reservas para explotarse por 30 años. Esta será una mina de tajo abierto y flotación para concentrar el cobre, y también molibdeno y plata como subproductos” (AngloAmerican, 2019). Respecto a la producción, la misma fuente informa que se espera un promedio de 300 mil toneladas de cobre por año durante los primeros 10 años. Se han aprobado todos los permisos ambientales para la construcción y es aceptado por las comunidades aledañas. El 26 de julio de 2018 se inició la construcción y la primera producción de cobre está fijada para el 2022.

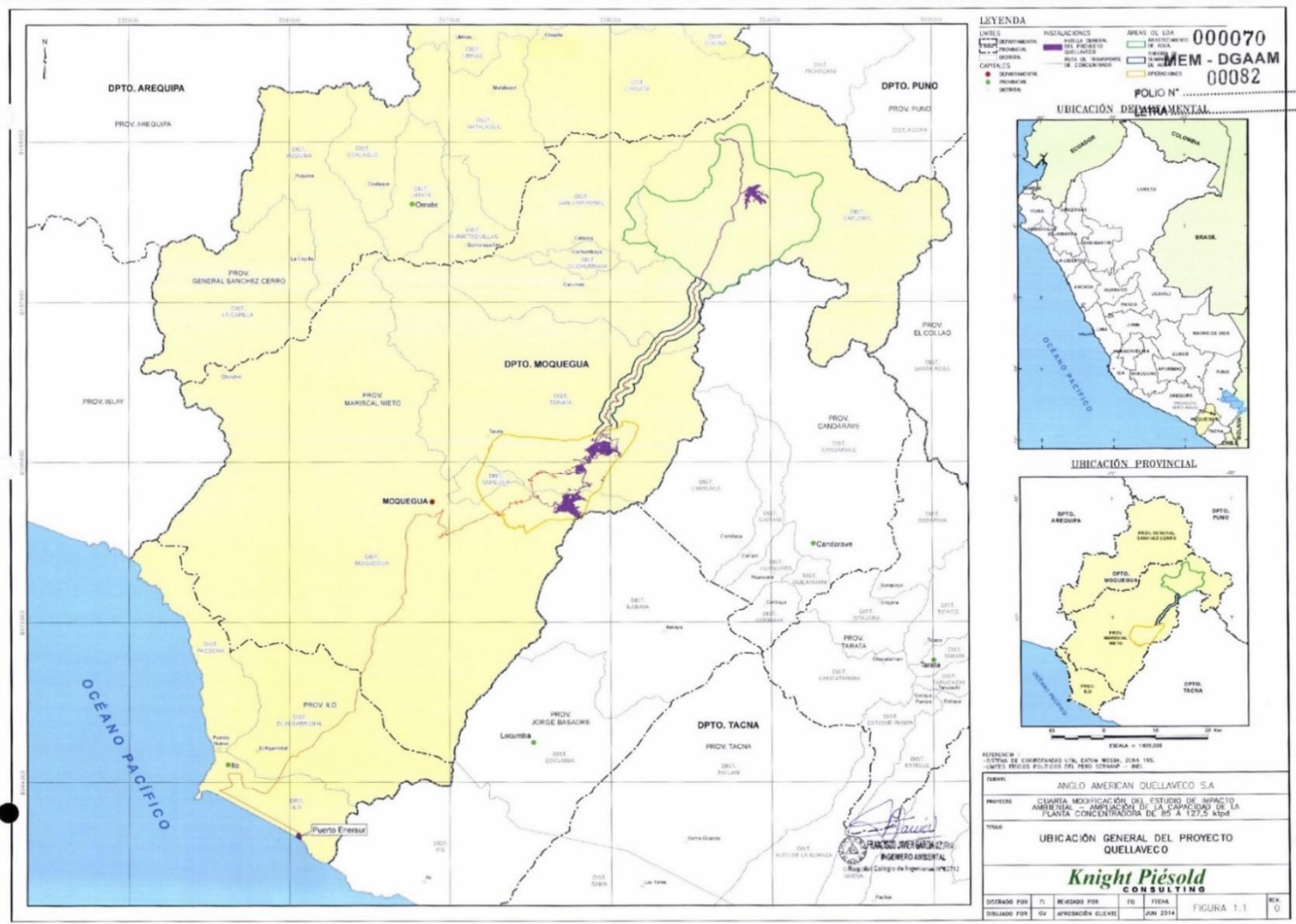


Figura 1. Ubicación general del proyecto minero. FUENTE: IV Modificatoria de Estudio de Impacto Ambiental Quellaveco (2015)

2.2 Marco Legal

Existe extensa normativa respecto al manejo y cuidado del agua en el país. Sin embargo, se han seleccionado 4 normativas que debemos resaltar para la presente investigación.

2.2.1 Ley General del Ambiente

En líneas generales, esta ley establece que la gestión de los recursos naturales no renovables está a cargo de sus autoridades sectoriales y le aplican normas especiales de cada recurso. También establece que todo titular de operaciones:

- ❖ Es responsable de las emisiones, efluentes, descargas y demás impactos negativos que se generen en el ambiente, salud y recursos naturales, por sus actividades.
- ❖ Debe adoptar prioritariamente medidas de prevención del riesgo y daño ambiental en la fuente generadora de los mismos, así como las demás medidas de conservación y protección ambiental que correspondan en cada una de las etapas de sus operaciones o los servicios que provea.
- ❖ Debe adoptar medidas para el efectivo control de materiales y sustancias peligrosas intrínsecas a sus actividades, debiendo prevenir, controlar y mitigar sus impactos ambientales negativos.

Otro aspecto es que reconoce el derecho de toda persona a participar responsablemente en los procesos de toma de decisiones. Esto se interpreta como la integración de la población en los comités evaluadores y fiscalizadores, como equipos de trabajos, en pro de la anuencia de la localidad para los proyectos de inversión. Bajo esto, el estado complementa promoviendo el empleo de las mejores tecnologías disponibles para que el aprovechamiento de los recursos no renovables sea eficiente y ambientalmente responsable; y, además, que los titulares de operaciones adopten sistemas de gestión ambiental para impulsar la mejora continua de sus niveles de desempeño ambiental.

2.2.2 Ley general de recursos hídricos

Esta ley es la N° 29338 en la que, básicamente, se regula el uso y gestión del agua. Esto quiere decir que se establece las condiciones y recomendaciones necesarias para que la población pueda utilizar este recurso primario, además de los derechos y los deberes del estado. En esta ley no solo se toma en cuenta el agua superficial, sino también la subterránea, continental; además de también poder ampliarse al agua marítima y atmosférica pero solo en la medida de lo aplicable (ANA, 2019).

2.2.3 ECA de agua

Este documento expresa los niveles de concentración de distintos elementos, sustancias y parámetros físicos, químicos y biológicos que se encuentran dentro de un cuerpo receptor. Por debajo de estos niveles, no se presente riesgos realmente significativos para la salud de las personas ni para el ambiente. (MINAM, 2017).

La ANA (2018) presenta una síntesis de esta norma. Esta se presenta a continuación:

Está comprendido por 4 categorías y 17 sub categorías:

Categoría 1: Poblacional y Recreacional

a) Subcategoría A: Aguas superficiales para producción de agua potable:

- A1: Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección.
- A2: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional.
- A3: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado.

b) Subcategoría B: Agua superficiales destinadas para recreación:

- B1: Contacto primario.
- B2: Contacto secundario.

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

- a) Subcategoría C1: Extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicadas en aguas marinos costeras.
- b) Subcategoría C2: Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino - costeras
- c) Subcategoría C3: Actividades marino - portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino – costeras
- d) Subcategoría C4: Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos y lagunas.

Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales

- a) Subcategoría D1: Riego de vegetales
- b) Subcategoría D2: Bebida de animales.

Categoría 4: Conservación del ambiente acuático

- Subcategoría E1: Lagunas y lagos.
- Subcategoría E2: Ríos.
 - Ríos de la costa y sierra.
 - Ríos de la selva.
- Subcategoría E3: Ecosistemas costeras y marinas:
 - Estuarios.
 - Marinos.

2.2.4 Clasificación de los cuerpos de agua

Respecto a la clasificación de los cuerpos de agua que atañe a la presente investigación, se tiene la Resolución Jefatural N°56–2018-ANA, en la que, en el anexo N°01, considera al río Tumilaca en categoría 3 del ECA (agua para riego). Por otro lado, la Resolución Jefatural N°202-2010-ANA, la anterior y derogada norma de clasificación de cuerpos de agua también consideraba al río Tumilaca en categoría 3, y además también al río Asana en la categoría mencionada. Con esta información, podemos inferir que los cuerpos de aguas estudiados en la presente investigación deben estar dentro de los valores para cada uno de los siguientes parámetros:

Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
FÍSICOS- 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	(μ S/cm)	2 500		5 000
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	\geq 4		\geq 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5		6,5 – 8,4
Sulfatos	mg/L	1 000		1 000
Temperatura	°C	Δ 3		Δ 3
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	5		5

Figura 2. Estándares de Calidad Ambiental de aguas para la Categoría 3

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
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 Difeníl Tricloroetano (DDT)	µg/L	0,001		30
Dieldrín	µg/L	0,5		0,5
Endosulfán	µg/L	0,01		0,01
Endrín	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	1 000	2 000	1 000
Escherichia coli	NMP/100 ml	1 000	**	**
Huevos de Helminfos	Huevo/L	1	1	**

Figura 3. Estándares de Calidad Ambiental de aguas para la Categoría 3. (a): Para aguas claras. Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural). (b): Después de filtración simple. (c): Para el riego de parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales, sólo aplican los parámetros microbiológicos y parasitológicos del tipo de riego no restringido. Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada. FUENTE: MINAM (2017)

2.3 Geología

2.3.1 Geología Regional

Los acontecimientos geológicos datan del precámbrico. Se presenta el Complejo Basal de la Costa, con intrusiones posteriores al paleozoico inferior. No se datan procesos geológicos propios del paleozoico debido a la ausencia de sedimentos que pudieron ser sometidos a una erosión regional. También se presentan rocas del Triásico, lo que indica la influencia de sedimentos marinos acompañados de una intensa actividad volcánica desde el Jurásico hasta fines del Cretácico de la era Mesozoica. Esta actividad también influyó en las formaciones geológicas que hoy se exponen en la zona de estudio. El basamento rocoso está conformado por las siguientes unidades lito estratigráficas: Grupo Toquepala, Formación Moquegua Superior, Formación Millo, Formación Pichu, Formación Maure, Volcánico Sencca, Formación Capillune y el grupo Borroso. Todas estas unidades se encuentran cortados por la súper unidad intrusiva de Yarabamba. A su vez, esta súper unidad está constituida por rocas ígneas intrusivas que están representadas por dioritas, tonalitas, granodioritas y granitos, cortadas por numerosos diques aplíticos. (IV MEIA Quellaveco, 2015).

2.3.2 Geología Local

La columna estratigráfica de la zona de estudio está constituida por el grupo Toquepala de probable edad del Cretácico Superior al Terciario Inferior, así como también la formación Moquegua Superior, Huaylillas y Millo al Plioceno y el Grupo Barroso del Pleistoceno – Cuaternario Inferior. Las rocas ígneas de la súper unidad Yarabamba del cretácico afloran en la zona (IV MEIA Quellaveco, 2015).

2.4 Hidrología

En este punto, se analiza las características de los cursos de agua, y de las coberturas de las cuencas de los ríos en los que se ha de analizar la calidad del agua. La información es proporcionada por los Estudios de Impacto Ambiental del MEIA Quellaveco (2015). Solo se tomará información de los ríos y las cuencas en cuales se tiene influencia directa con los puntos de monitoreo.

Todos los puntos de monitoreo, y los ríos en los cuales evaluamos la calidad de aguas están comprendidos dentro de la cuenca Moquegua – Río Osmore, cuya área es aproximadamente 3670 km². Comprende el río Moquegua y la quebrada Secado de Guaneros. Se extiende desde el océano pacífico en Ilo, hasta los Andes, con cotas que incluso llegan a 5400 m. Este gran valle está influenciado directamente por la acción modeladora de los ríos Torata, Huacarané y Tumulaca. Por la zona de aguas abajo, la zona fluvial del valle cambia a un valle ancho cultivado, en donde predomina el cultivo de aceitunas. (Knight Piésold Consultores, 2008). A continuación, se mencionará la caracterización hidrográfica de las microcuencas relacionadas a nuestros puntos de monitoreo.

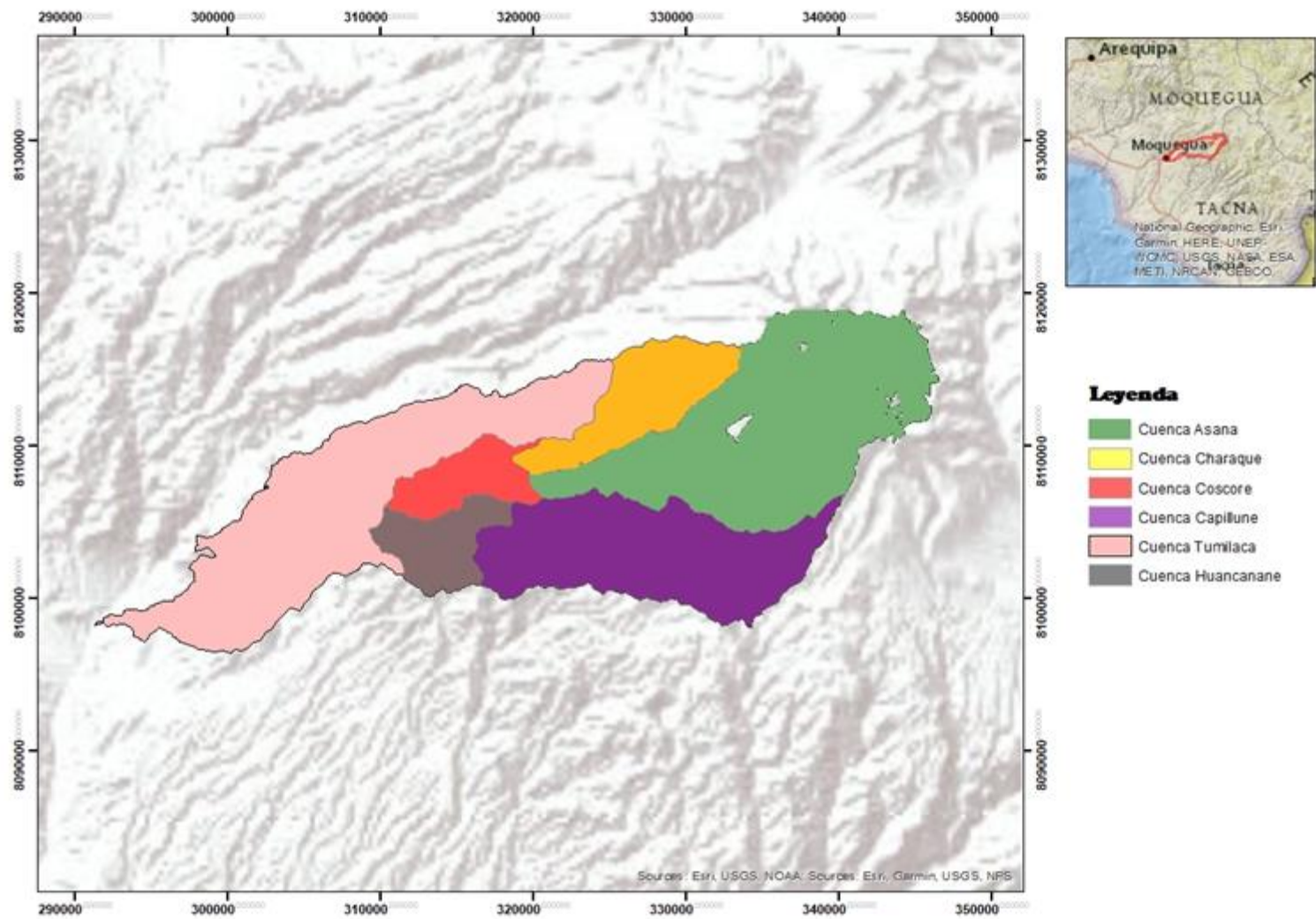


Figura 5. Cuencas de Interés para el presente estudio. FUENTE: Elaboración Propia

2.4.1 Cuenca del río Asana

La cuenca del río Asana nace a los 5544 m de altitud en la línea divisoria con la cuenca del río Tacalaya y se orienta hacia la dirección suroeste. Las aguas del río Asana confluyen con las aguas del río Charaque para formar el río Coscore. La cuenca del río Asana tiene un área de drenaje de 200.4 km². El curso principal de la cuenca del río Asana tiene una longitud de 27.4 km y una pendiente media de 5.34 por ciento. El factor de forma de la cuenca es de 0.27 y el coeficiente de compacidad es 1.51; estos valores sugieren que la respuesta de la cuenca frente al escurrimiento es rápida (IV MEIA Quellaveco, 2015).

2.4.2 Cuenca del río Charaque

La cuenca del río Charaque nace a los 4963 m de altitud en la línea divisoria con la cuenca del río Torata y se orienta hacia la dirección suroeste. Las aguas del río Charaque confluyen con las aguas del río Asana para formar el río Coscore. La cuenca del río Charaque tiene un área de drenaje de 54.3 km². El curso principal de la cuenca del río Charaque tiene una longitud de 13.8 km y una pendiente media de 8.73 por ciento. El factor de forma de la cuenca es de 0.29 y el coeficiente de compacidad es 1.55; estos valores sugieren que la respuesta de la cuenca frente al escurrimiento es moderada (IV MEIA Quellaveco, 2015).

2.4.3 Cuenca del río Capillune

La cuenca del río Capillune es la mayor subcuenca de la cuenca del río Huacanane. Las aguas del río Capillune confluyen con las aguas de la quebrada Papujune para formar el río Huacanane. La cuenca del río Capillune tiene un área de drenaje de 97, 8 km². El curso principal de la cuenca del río Capillune tiene una longitud de 30, 9 km y una pendiente media de 4.1 por ciento. El factor de forma de la cuenca es de 0.1 y el coeficiente de compacidad es 1.85; estos valores sugieren que la respuesta de la cuenca frente al escurrimiento es muy rápida (IV MEIA Quellaveco, 2015).

2.4.4 Cuenca del río Huacanane

La cuenca del río Huacanane nace a los 4911 m de altitud en la línea divisoria con la cuenca de la quebrada Honda y se orienta hacia la dirección oeste. Las aguas del río Huacanane confluyen con las aguas del río Coscore para formar el río Tumilaca. La cuenca del río Huacanane tiene un área de drenaje de 161.4 km². El curso principal de la cuenca del río Huacanane tiene una longitud de 26.1 km y una pendiente media de 5.34 por ciento. El factor de forma de la cuenca es de 0.24 y el coeficiente de compacidad es 1.75; estos valores

sugieren que la respuesta de la cuenca frente al escurrimiento es rápida (IV MEIA Quellaveco, 2015).

2.4.5 Cuenca del río Coscore

La cuenca del río Coscore nace a los 5544 m de altitud en la línea divisoria con la cuenca del río Tacalaya y se orienta hacia la dirección suroeste. Las aguas del río Coscore confluyen con las aguas del río Huacanane para formar el río Tumulaca. La cuenca del río Coscore tiene un área de drenaje de 285.2 km². El curso principal de la cuenca del río Coscore tiene una longitud de 38.2 km y una pendiente media de 5.79 por ciento. El factor de forma de la cuenca es de 0.20 y el coeficiente de compacidad es 1.61; estos valores sugieren que la respuesta de la cuenca frente al escurrimiento es moderada (IV MEIA Quellaveco, 2015).

2.4.6 Cuenca del río Tumulaca

La cuenca del río Tumulaca nace a los 5544 m de altitud en la línea divisoria con la cuenca del río Tacalaya y se orienta hacia la dirección suroeste. Las aguas del río Tumulaca confluyen con las aguas del río Otorá para formar el río Moquegua. La cuenca del río Tumulaca tiene un área de drenaje de 637.8 km². El curso principal de la cuenca del río Tumulaca tiene una longitud de 60.6 km y una pendiente media de 5.40 por ciento. El factor de forma de la cuenca es de 0.17 y el coeficiente de compacidad es 1.63; estos valores sugieren que la respuesta de la cuenca frente al escurrimiento es rápida (IV MEIA Quellaveco, 2015).

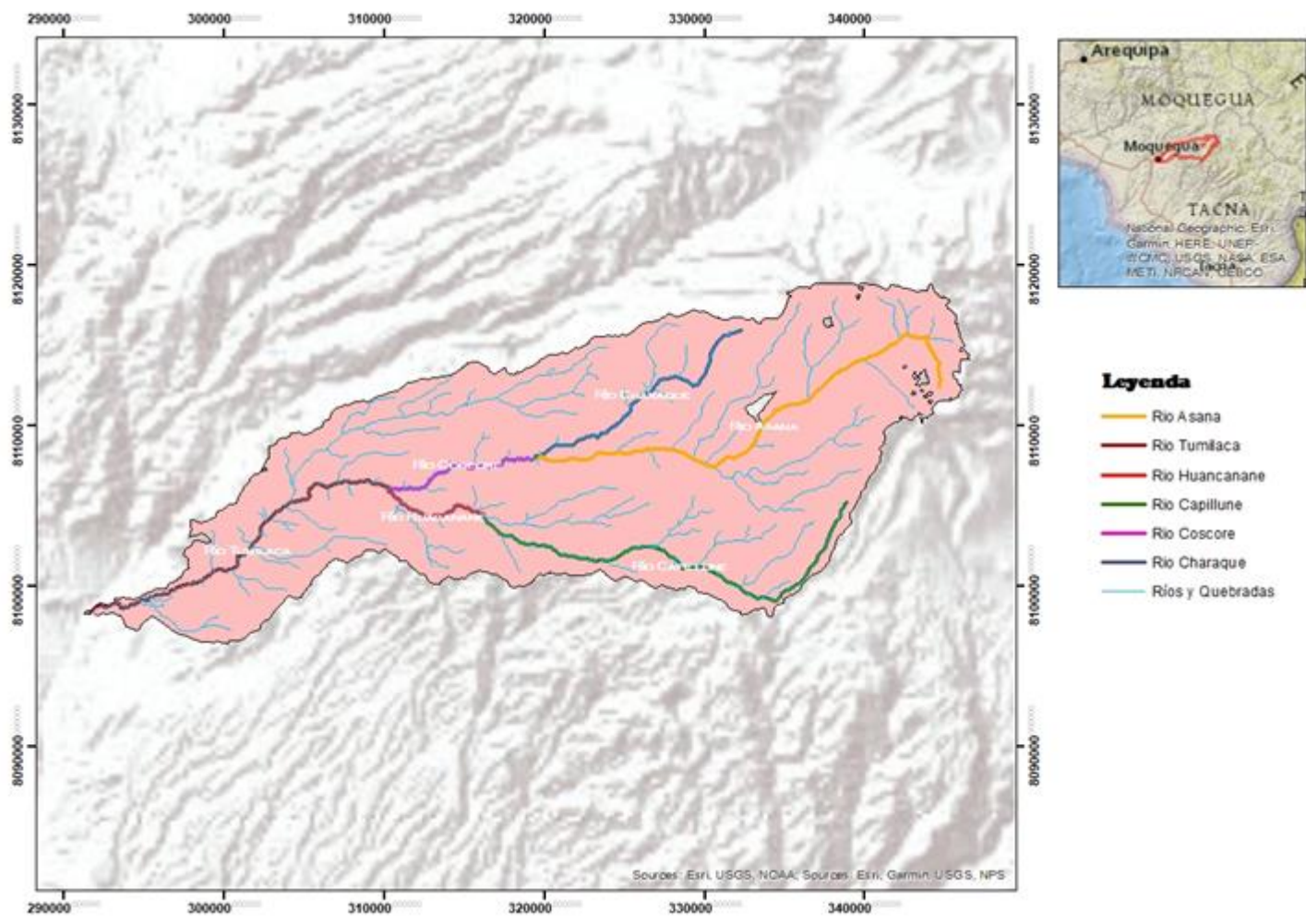


Figura 6. Red hidrográfica de la zona de estudio. FUENTE: Elaboración propia.

2.5 Calidad del agua

La calidad del agua se determina a partir de la medición de parámetros; ya sean físicos, químicos o biológicos, y su comparación con niveles normativos o estudiados en los que se tenga conocimiento de que es perjudicial para los actores que habitan el ambiente. También, es preciso mencionar que su uso determina su calidad, ya sea para beber, nadar u otros fines (Teves, 2016).

2.5.1 Parámetros *In-situ*

Son los parámetros que se miden en campo. La mayoría de estos fueron definidos por Teves (2016). A continuación, se muestra un resumen de ello.

- **Caudal**

Está determinado por la velocidad de flujo de agua que atraviesa una sección. Existen muchos mecanismos, de acuerdo al tamaño del caudal. El más usado es el método del correntómetro. Además, este parámetro varía de acuerdo a la estación del año. Incluso puede llegar a ser nulo en algunas quebradas.

- **Conductividad eléctrica**

Es la medida de la capacidad que tiene el agua para dejar circular la corriente eléctrica. Está influenciado por la cantidad de partículas inorgánicas disueltas, tales como iones de sodio, calcio, hierro, sulfatos, nitratos, fosfatos, etc. Las partículas orgánicas tienen una baja capacidad de conducir electricidad. Finalmente cabe mencionar que la temperatura y la conductividad tienen una relación directamente proporcional.

- **Oxígeno Disuelto**

Es un parámetro elemental ya que es la molécula necesaria para la existencia. Se utiliza principalmente en los organismos vivos para que se pueda dar el proceso de respiración.

- **pH (campo)**

Este parámetro determina la concentración de iones hidronio en el agua. En base a esta concentración, se determina el grado de acidez, que influye en la actividad de los organismos del agua y la solubilidad de distintos elementos metálicos y no metálicos.

- **Temperatura**

La temperatura del agua es importante para conocer los organismos que existen en el mismo. Un ligero cambio de temperatura podría incidir directamente en el desarrollo de los organismos acuáticos.

2.5.2 Parámetros *Ex-situ*

Son los parámetros que se miden en laboratorio. La mayoría de estos fueron también fueron definidos por Teves (2016) y a continuación, se muestra un resumen de ello.

- Parámetros Fisicoquímicos

En la presente investigación se considera en esta clase de parámetros a los siguientes: Alcalinidad Bicarbonato, Alcalinidad Total, Bicarbonatos, Carbonatos, Dureza Total, Silicatos, Sólidos Totales Disueltos y Sólidos Totales Suspendidos. Todos estos comparten la característica de generar reacciones químicas en su interacción con otros parámetros y al variar considerablemente su concentración, por lo que se considera este el criterio de selección de los mismos.

- Parámetros Inorgánicos No Metálicos

Se considera a los siguientes parámetros: Fósforos y Cianuros (ambos en sus diferentes clases), Nitrógeno Amoniacal y sulfuros. Estos parámetros comparten la característica de ser muy perjudiciales si están presentes en las aguas.

- Aniones por Cromatografía Iónica

Son los iones de carga negativa que están presentes en aguas y su presencia solo en concentraciones considerables representan un riesgo para la salud. Aquí se considera al Bromuro, Cloruro, Fluoruro, Nitratos, Nitritos y Sulfatos.

- Parámetros Orgánicos

Son los parámetros que miden compuestos orgánicos o que están relacionados directamente con la actividad biológica. Aquí se considera a los Aceites y Grasas, DQO, DBO, MEH y Detergentes Aniónicos.

- Parámetros Microbiológicos

Se considera a los microorganismos causantes de enfermedades a la población. En la presente investigación se toma como parámetro a las coliformes fecales y totales, aunque también existen muchos otros organismos indicadores.

- Metales y Metales Totales por ICP-MS

Son los parámetros correspondientes a los elementos metálicos de la tabla periódica.

2.5.3 Indicadores biológicos

Para conocer la calidad del agua también se pueden utilizar recursos hidrobiológicos. En este caso, la diversidad biótica de agua dulce es un indicador importante de alteración. El grado de implementación de estos análisis a los estudios fisicoquímicos que se suelen realizar es importante ya que permite el ahorro de reactivos y recursos, contribuyendo a la sostenibilidad y eficiencia (Hahn-von Hessberg, C. et al., 2009).

2.6 Evaluación espacial y temporal de la calidad de agua

2.6.1 Índices de Calidad de Agua ICA's

Para realizar una evaluación cuantitativa de la calidad de agua se suelen utilizar los índices de calidad de agua ICA's. Sin embargo, la metodología para su obtención en cada país varía. Castro (2014) explica varios conceptos de distintos autores sobre el Índice de Calidad de Agua. Sin embargo, el denominador común para todos estos es que es un instrumento en el que su importancia radica en la capacidad que da a las personas para transmitir información sobre las condiciones y cualidades del recurso hídrico, y a partir de este punto, tomar decisiones. Sin embargo, se resalta nuevamente que las metodologías para medir los parámetros del agua varían de acuerdo a cada autor. Sin embargo, la utilización de esta herramienta matemática permite simplificar la gran cantidad de datos que se tienen en los monitoreos y la capacidad de comparación que se obtiene al tratar estos datos, aunque también depende directamente de las normativas locales para realizar las comparaciones, ya que los ICA's están directamente relacionados a ellas.

2.6.2 Índice de Calidad de Agua canadiense CCME

Este índice, como se ha mencionado en el punto anterior respecto a los ICA's, proporciona una forma conveniente para resumir un complejo número de datos de calidad de agua y facilitar su comunicación para el público en general. Sus objetivos son 3: Alcance (número de parámetros que no cumplen con la normativa de calidad de aguas), Frecuencia (Número de veces que los datos de los parámetros no cumplen con la normativa) y Amplitud, la cantidad de datos del total que no cumplen con la normativa de calidad de aguas (CCME, 2017). En esta guía no se especifica los parámetros ni la normativa ya que estos varían de acuerdo a la localidad y se adapta a los lugares donde se utilice. Precisamente, esta guía es la base de la cual, la ANA estipula el ICA-PE. La metodología es exactamente la misma y se analizará en el punto siguiente.

2.6.3 Índice de Calidad de Agua ICA-PE (ANA)

En el caso del Perú, la ANA ha desarrollado una metodología para la determinación del índice de calidad de agua ICA-PE, aplicado a cuerpos continentales de agua, adecuando el CCME. Su fin es obtener, a través de las herramientas matemáticas, una alternativa homogénea y comparable, para la comparación de la calidad de agua a partir de la transformación de grandes cantidades de datos a una escala única de medida. (ANA, 2018)

La ANA (2018) describe el método en 3 etapas. Estas etapas se describen a continuación

A. Definición de la Zona de Estudio

Es necesario que luego de identificar el curso de agua o cuenca, se describa el contexto sus características hidrográficas y ubicación geográfica. También las actividades productivas que se podrían realizar en la zona.

B. Información Base Necesaria

En este caso, se menciona que es necesario la información de monitoreos, en una cantidad suficiente. En el caso de analizar la calidad de agua de una cuenca, es necesario notificar a la ANA de la red de puntos propuestos y esperar por la aprobación de los mismos. Se recomienda una data mínima de 4 parámetros a evaluar, analizados en 4 monitoreos como mínimo. No se especifica una cantidad máxima de parámetros.

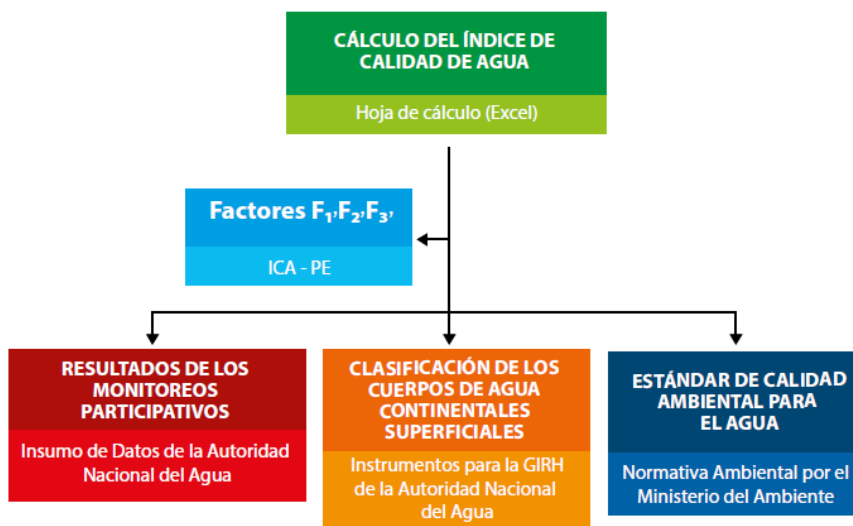


Figura 7. Infograma de la información necesaria para obtener el ICA-PE. FUENTE: ANA (2018)

C. Cálculo del Índice de Calidad de Agua (ICA-PE)

La fórmula a aplicar está basada en 3 factores:

- F1: Alcance

Número de parámetros de calidad de que no cumplen con los valores establecidos en la normativa ambiental correspondiente, respecto al total de número de parámetros a evaluar.

$$F_1 = \frac{\text{Número de parámetros que no cumplen con la normativa}}{\text{Número total de parámetros a evaluar}} * 100$$

- F2: Frecuencia

Número de datos que no cumplen con la normativa ambiental respecto al total de datos de parámetros a evaluar (correspondiente a un mínimo de 4 monitoreos)

$$F_2 = \frac{\text{Número de datos que no cumplen con la normativa del total de datos evaluados}}{\text{Número total de datos evaluados}} * 100$$

- F3: Amplitud

Representa la desviación que existen entre los datos, la cual se representan por la suma normalizada de los excedentes, es decir, el exceso de todos los datos respecto al número total de datos.

$$F_3 = \frac{\text{Suma normalizada de excedentes (nse)}}{\text{Suma normalizada de excedentes(nse) + 1}} * 100$$

En donde:

$$nse = \frac{\sum_i \text{Excedente}_i}{\text{Total de datos}}$$

Excedente, se da para cada parámetro, siendo el valor que representa la diferencia del valor la diferencia de la normativa ambiental y el valor del dato respecto a la normativa.

- Caso 1: Cuando el valor de concentración del parámetro supera al valor establecido en la normativa, se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Excedente}_i = \frac{\text{Valor del parámetro que no cumple con la normativa}}{\text{Valor establecido en la normativa}} - 1$$

- Caso 2: Cuando el valor de concentración del parámetro es menor al valor establecido en la normativa, incumpliendo con la condición señalada en el mismo, se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Excedente}_i = \frac{\text{Valor establecido del parámetro en la normativa}}{\text{Valor del parámetro que no cumple con la normativa}} - 1$$

Finalmente, cuando ya se tiene todos los factores F_1 , F_2 y F_3 ; se procede a realizar el cálculo del ICA-PE, según la siguiente fórmula:

$$ICA - PE = 100 - \sqrt{\frac{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}{3}}$$

El valor de 100 indica un ICA de excelente calidad y el valor de 0 de pésima calidad. Este número es adimensional, el cual es ubicado entre 5 rangos, distribuidos del 1 al 100 de la siguiente manera:

Tabla 1. Rangos de distribución del ICA-PE

ICA - PE	Calificación	Color	Interpretación
90-100	Excelente	Azul	La calidad del agua está protegida por ausencia de amenazas o daños. Las condiciones son muy cercanas a niveles naturales o deseados
75-89	Bueno	Celeste	La calidad del agua se aleja un poco de la calidad natural del agua. Sin embargo, las condiciones deseables pueden estar con algunas amenazas o daños de poca magnitud
45-74	Regular	Verde	La calidad del agua natural ocasionalmente es amenazada o dañada. La calidad del agua a menudo se aleja de los valores deseables. Muchos de los usos necesitan tratamiento
30-44	Malo	Naranja	La calidad del agua no cumple con los objetivos de calidad, frecuentemente las condiciones deseables están amenazadas o dañadas. Muchos de los usos necesitan tratamiento
0-29	Pésimo	Rojo	La calidad de agua no cumple con los objetivos de calidad, casi siempre está amenazada o dañada. Todos los usos necesitan previo tratamiento.

FUENTE:: Adaptado de ANA (2018)

Esta es una calificación cualitativa, asociada a un color representativo, que ayuda a facilitar la comunicación y comprensión de la calidad del agua. Así, una gran cantidad de datos pueden ser transformados a una escala de medición única y, además, ser comparables. Es importante aplicar los ICA's a datos de monitoreo tanto en temporada seca, húmeda y globales, para comprender mejor la dinámica de la calidad de los cuerpos de agua.

2.6.4 Índice de Metales

Se toma como referencia el índice de metales (IM) utilizado por Goher, Hassan, Abdel-Moniem, Fahmy y El-sayed (2014). En este estudio, Goher et al. utiliza dos índices para

determinar la alteración por metales de un canal de Ismailía. A continuación, se muestran ambos índices y su mecanismo de determinación:

A. Índice de Polución de Agua (IPA)

Está basado en el cálculo individual del metal y se categoriza en 6 clases, según la siguiente tabla. Es importante destacar que el metal evaluado tenga un nivel máximo aceptado dentro de la normativa ambiental. Luego, los datos se trabajan según la ecuación:

$$IPA = \frac{\sqrt{\left(\frac{C_i}{S_i}\right)_{max}^2 + \left(\frac{C_i}{S_i}\right)_{min}^2}}{2}$$

De donde:

C_i: Concentración de cada elemento

S_i: Concentración del metal en la normativa

Tabla 2: Categorías del índice de polución de agua.

Clase	Valor IPA	Calificación
1	<1	No afectado
2	1-2	Levemente afectado
3	2-3	Moderadamente afectado
4	3-5	Fuertemente afectado
5	>5	Seriamente afectado

FUENTE: Adaptado de Goher et al. (2014)

B. Índice de Metales (IM)

Está basado en la evaluación de la tendencia total del estado actual. Cuanto mayor es la concentración del metal respecto a su máxima concentración permisible (MCP) en la normativa ambiental, peor es la calidad del agua. El valor que es mayor a 1 es el estado umbral de advertencia. La fórmula de aplicación es la siguiente:

$$IM = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{MCP_i}$$

2.7 Evaluación hidroquímica

Conocer las características hidroquímicas del agua es importante para la gestión de recursos hídricos de la zona. Esto debido a que, al conocer sus condiciones, los procesos

fisicoquímicos que las afectan y la calidad de la propia agua, se genera información importante para la toma de decisiones (García, Balmaceda y Vargas, 2012).

2.7.1 Diagrama de Piper

Este diagrama está conformado por 2 triángulos equiláteros, en los que se ve representados aniones y cationes. Respecto a los triángulos, algunos de estos se grafican separados (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- y SO_4^{2-}) y otros agrupados ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$ y $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$, aunque algunos también añaden NO_3^- a estos últimos). Además, el campo central es ocupado por una figura romboidal que muestra la composición del agua respecto a estas características (García et al., 2012). Cada eje representa en porcentaje la suma de cationes y aniones y se grafica respecto a su ubicación porcentual respecto a los 4 grupos de iones agrupados (Gidahatari, 2013).

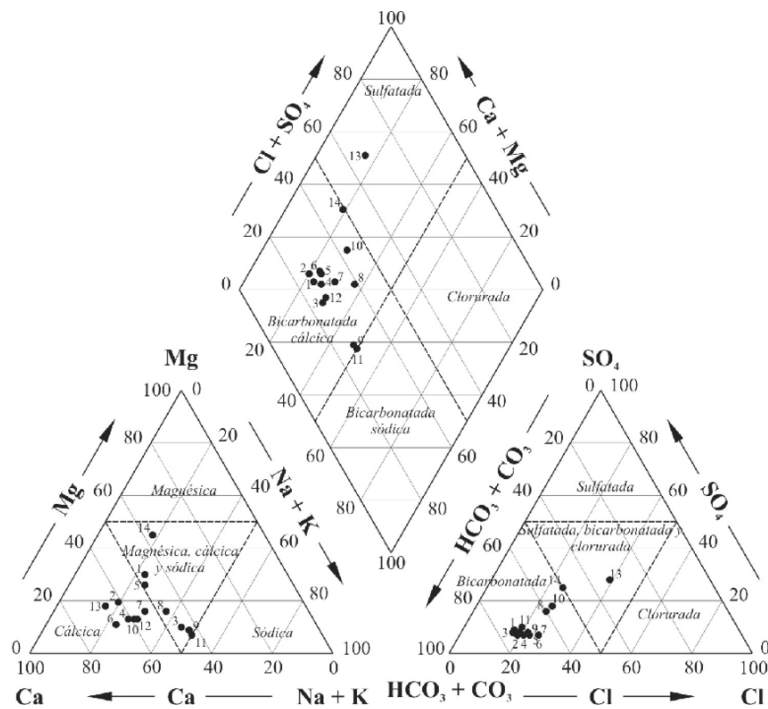


Figura 8. Interpretación del diagrama de Piper. FUENTE: Padilla et al. (2012)

Además, de acuerdo a la región donde se encuentre el punto, se le clasifica al agua según se representa en la figura anterior. Agrupando los monitoreos se puede obtener una tendencia para el agua en cada zona.

Gao et al. (2017) aplica este método de análisis hidroquímico en su estudio para evaluar la hidroquímica y los mecanismos de control en lagos de regiones en permafrost en China. Así, distribuye los puntos de muestreo en 5 subregiones basados en diferencias climáticas,

hidrológicas, topográficas, geológicas y distribución de lagos. En total se tomaron 127 muestras en estas 5 regiones.

Se realizaron distintos análisis para determinar la calidad del agua. Se halló concentraciones de iones clave, errores en balance de carga, la tasa de evapotranspiración, análisis estadísticos, entre otros. Sin embargo, también se realiza el análisis bajo el diagrama de Piper. Así se evalúa los tipos de agua trazando los principales aniones y cationes en el diagrama trilineal. Se infiere del gráfico que los lagos en el área de estudio se pueden dividir en 3 tipos principales. El tipo 1 está dominado por Na-Cl, muestras de CHP, HXHR y ToB. El tipo 2 está dominado por Ca-HCO₃ e incluye muestras del MTR. El tipo 3 está dominado por Na-HCO₃ e incluye muestras de TuB. Luego de este análisis, y acotando que, basándose en los estándares internacionales de la OMS, el agua de los lagos CHP y ToB no es apta para el consumo humano. Finalmente, los iones de los lagos MTR cumple con los estándares de agua potable y lagos; sin embargo, se debe realizar análisis para bacterias coliformes, iones de metales pesados, compuestos orgánicos volátiles y pesticidas.

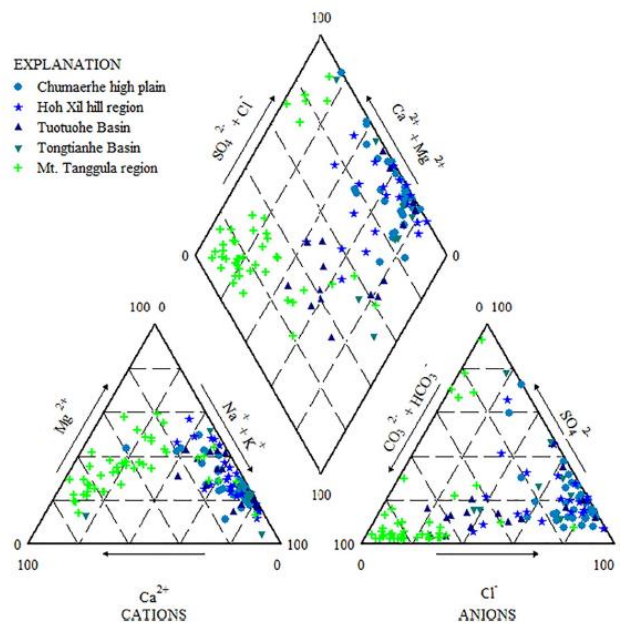


Figura 9. Representación del diagrama de Piper. FUENTE: Gao et al. (2017)

2.7.2 Diagrama de Stiff

Este diagrama representa otro tipo de representación hidroquímica de las aguas. Donato (1999) explica básicamente su elaboración y funcionamiento. Se extienden líneas de izquierda a derecha, en donde cada lado representa un ion. La línea del centro se interpreta como concentración cero. Los iones negativos se grafican a la derecha mientras que los

positivos a la izquierda. Por conveniencia, todas las sales (potasio, litio) se representan con sodio. Se distribuyen líneas verticales paralelas que representan las concentraciones de cada ion en mg/L, y se empieza a unir los puntos, según cada concentración. Cada tipo de agua tiene un diagrama característico.

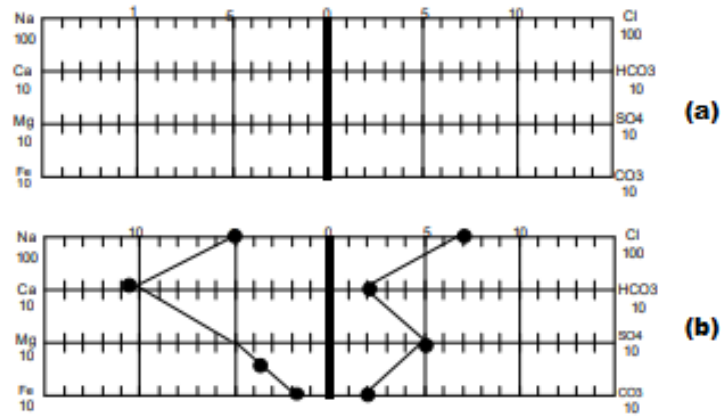


Figura 10. . Método de elaboración del diagrama de Stiff. FUENTE: Donato (1999).

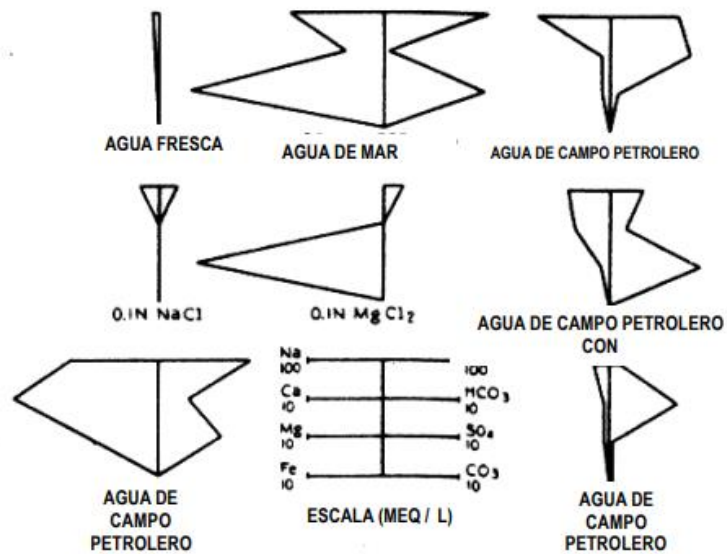


Figura 11. Tipos de agua. FUENTE: Donato (1999)

García et al. (2012) lo aplica en su estudio, en el que realiza una caracterización hidroquímica de las aguas de riego de la cuenca del río Naranjo, Guatemala. Lo utiliza para representar espacialmente los tipos de agua, a través de polígonos que unen las concentraciones de cada ion con rectas paralelas. Así, la forma de cada polígono da una idea del tipo de agua que se tiene. Luego, al enlazar los polígonos del mapa, se visualiza la variación estos tipos de agua.

Se seleccionó 6 puntos de muestreo, superficiales y subterránea. Se menciona que lo que se busca con este diagrama es mostrar la distribución espacial de los patrones hidroquímicos (aniones y cationes) evaluados, de forma espacial. Así, a continuación, se muestra el diagrama y el análisis de su estudio, con fines de comprensión la dinámica del mismo.

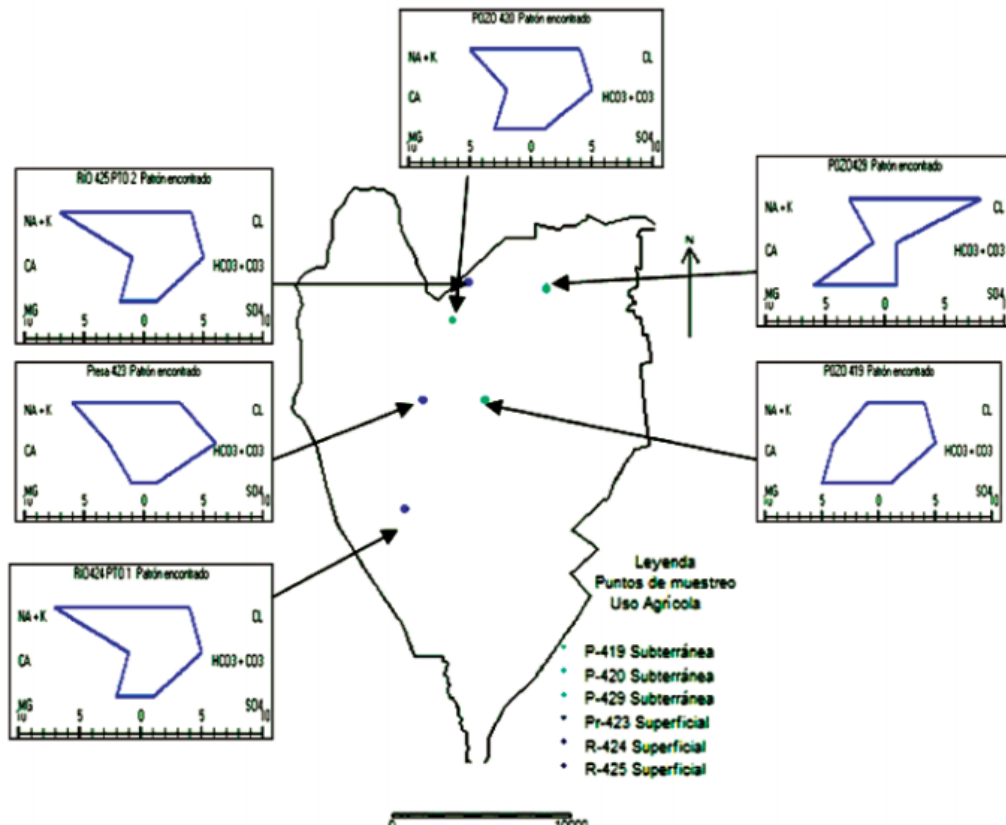


Figura 12. Diagrama de Stiff. FUENTE: García et al. (2012).

En el diagrama mostrado se puede observar que predomina los aniones bicarbonato y cloruros en las fuentes subterráneas, y sodio en las superficiales. Producto de ello, infiere que hay distintos tipos de agua en esta cuenca, lo que coincide con otro estudio, que menciona que las características geológicas de estas cuencas son complejas en base al origen del material parental adyacente.

2.7.3 Diagrama de Schoeller-Berkaloff

En el mismo estudio mencionado en el punto anterior, García et al. (2012), se muestra este diagrama. Luego de haber clasificado los tipos de agua, se aplica el diagrama de Schoeller-Berkaloff. Este diagrama emplea una escala semilogarítmica para representar las concentraciones de iones en miliequivalentes, y es ventajoso para visualizar varias muestras. También se menciona que es el diagrama adecuado para analizar la variabilidad temporal de las aguas en un mismo punto y su variación composicional en diferentes puntos. A

continuación, se muestra los diagramas realizados para las concentraciones de iones muestreados en el período seco. Se observa un patrón hidroquímico en el que predominan las aguas bicarbonadas cloruras sódicas.

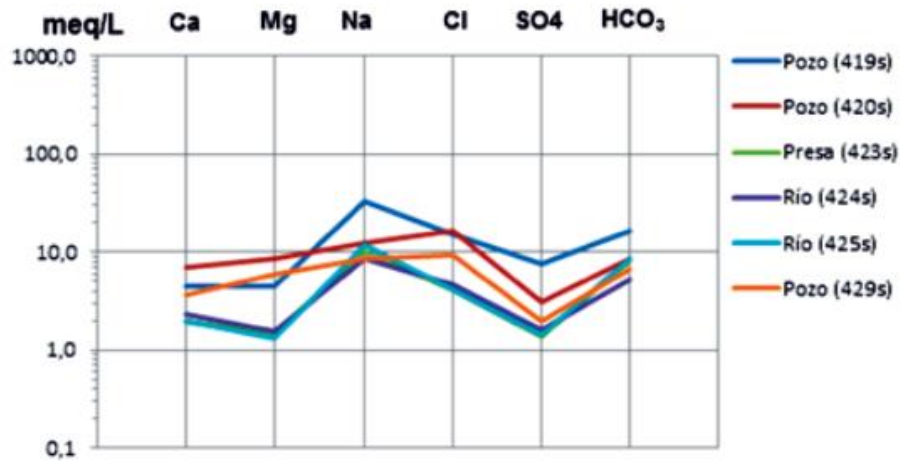


Figura 13. Diagrama de Schoeller – Berkloff. FUENTE: García et al. (2012).

2.7.4 Diagrama de Stabler

Esta clase de diagrama permite observar la presencia y predominancia de los cationes y aniones representativos en el análisis hidroquímico, tales como Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+ ; y también Cl^- , SO_4^{2-} y $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$, respectivamente (en algunas ocasiones se considera NO_3^- como anión u algún otro ion representativo). Así, se dispone dos barras, superior para cationes e inferior para aniones, en las cuales se secciona el área de cada una de forma proporcional a la concentración de los cationes o aniones.

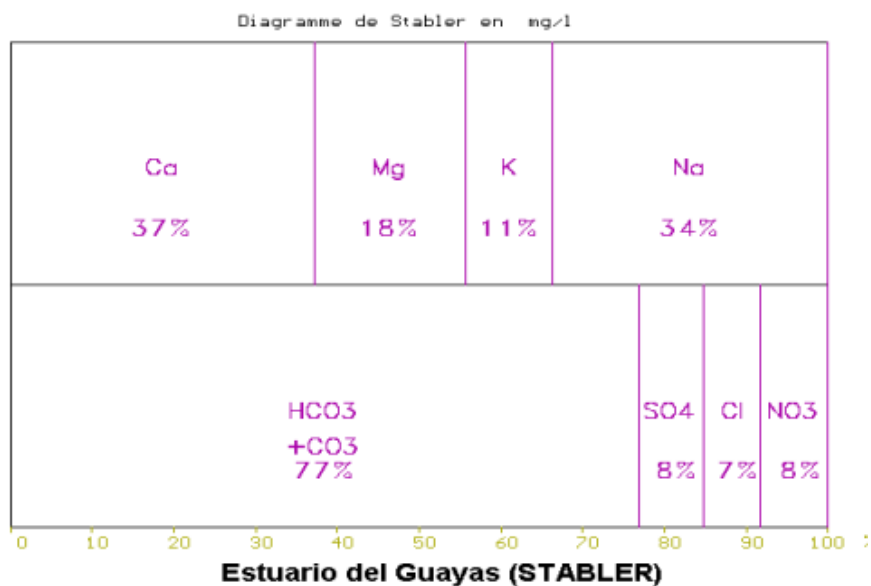


Figura 14. Diagrama de Stabler del promedio de muestreos. FUENTE: Laraque, Cerón, Magat & Pombosa, (2002) p.69

2.8 Evaluación de los procesos hidrogeológicos influyentes en la calidad de agua superficial

Para evaluar la naturaleza de la calidad de agua superficial, es necesario conocer los procesos hidrogeológicos que influyen la liberación de los solutos en las aguas naturales superficiales. La composición del flujo del agua de las cuencas está determinada por el comportamiento geoquímico de los solutos y la mineralogía de los precipitados. Por ejemplo, en la evaporación, los minerales menos solubles empiezan a precipitar, se divide la composición química, alterando la composición del agua resultante. Luego de esto, la solución va cambiando nuevamente hasta encontrar un nuevo punto de saturación y precipitación. Finalmente, ya que los minerales que precipitan por la evaporación son los mismos (calcita, halita y yeso), el agua también va cambiando de la misma manera. (Zhu et al., 2011).

2.8.1 Relaciones de Iones Específicos Mg/Ca vs Mg/Na

El Mg es un elemento de menor concentración de las sales del suelo y, además, no suele precipitar en las primeras etapas de precipitación de aguas con bajo contenido de silicatos. En consecuencia, en las primeras etapas de evaporación del agua, cuando ocurre un deshielo, las concentraciones de Mg no disminuirán, ni incrementarán con la lixiviación de sales del suelo. Por lo tanto, la concentración de Mg/Ion⁺ pueden servir como indicadores del grado de lixiviación (Mg/Na) y evaporación (Mg/Ca). Las concentraciones de Mg en el agua van a ir incrementando a medida que este ion es liberado de minerales ferromagnesianos durante los procesos de erosión (Webster Brown y Vincent, 1994).

Por ejemplo, en la siguiente figura se grafica la relación Mg/Ca vs Mg/Na para mostrar la importancia relativa de los procesos de evaporación y lixiviación de sales en la química del agua, en la investigación de Webster et al. (1994). Este estudio se realizó en aguas del Victory Valley y Bull Pass, en Estados Unidos. Este gráfico analiza la tendencia de las muestras a la evaporación, interacción con las rocas o si proviene de lixiviados.

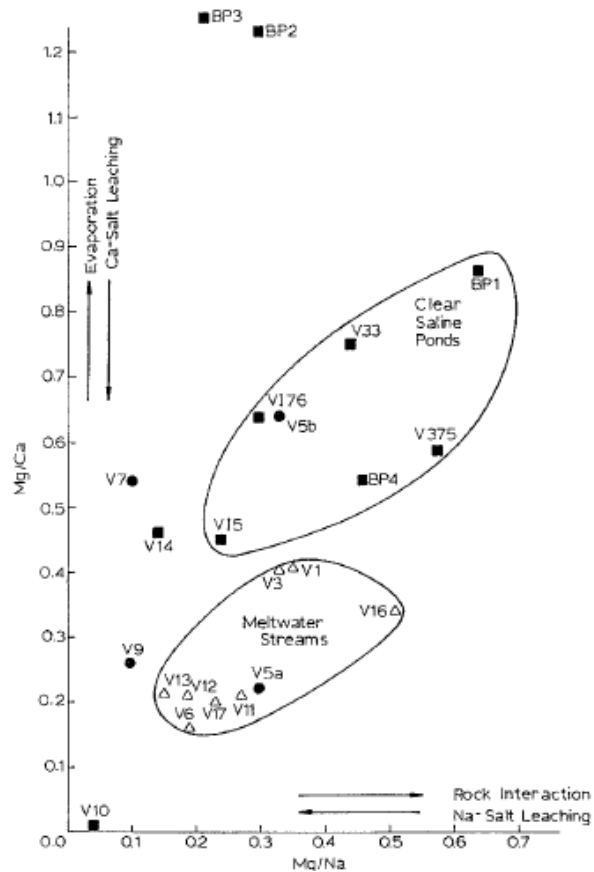


Figura 15. Relaciones de iones. FUENTE: Webster et al. (1994)

Webster et al. (1994). evalúa grupalmente las corrientes de deshielo (Melwater Streams), que son un tipo de agua utilizada en este estudio, tienen bajas proporciones de Mg/Ca y Mg/Na; y se muestra alguna evidencia para interpretar que su adquisición de soluto es por lixiviación de sales. Los estanques salinos (Clear Saline Ponds) tienen una tendencia parecida en la relación Mg/Na, pero tienen relaciones más altas en Mg/Ca. Con esto se interpreta que la evaporación fue un factor clave en el desarrollo de este tipo de agua. Adicionalmente, la química de los estanques está afectado por el contacto con las rocas, lo que resulta en el aumento de la relación Mg/Ca.

2.8.2 Diagrama de Gibbs

Este diagrama evalúa la influencia de 3 procesos de variación hidroquímica principales: Precipitación, Interacción agua-roca y Evaporación; cada proceso mencionado generará en el agua características particulares. El diagrama tiene como premisa que la interacción de la roca o suelo con el agua incrementará la relación Ca/Na del agua, mientras que la evaporación disminuirá esta relación a medida que precipita la calcita. Algunas investigaciones también han utilizado la relación Ca/Na para indicar el proceso de

lixiviación de las sales de suelo (Zhu et al., 2011). Se grafica la relación $\text{Na}^+ / (\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+})$ vs. TDS y $\text{Cl}^- / (\text{Cl}^- + \text{HCO}_3^-)$ vs. TDS, y en base a la posición en el diagrama se evalúa (Gao et al., 2017).

Gibbs (1970) ofrece un gráfico que muestra la correcta interpretación del mismo. De acuerdo a la posición en la que se encuentre el dato de monitoreo dentro del área cóncava, se infiere la predominancia del proceso de influencia.

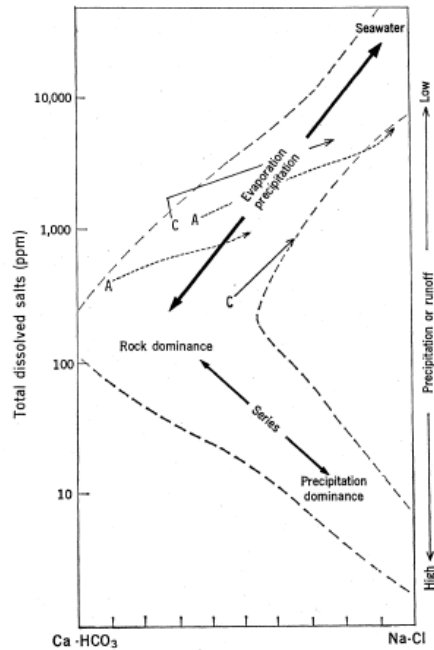


Figura 16. Interpretación del Diagrama de Gibbs. FUENTE: Gibbs (1970).

En el estudio de Gao et al. (2017), para aguas de lagos de permafrost, obtiene los resultados que se muestran en la siguiente figura.

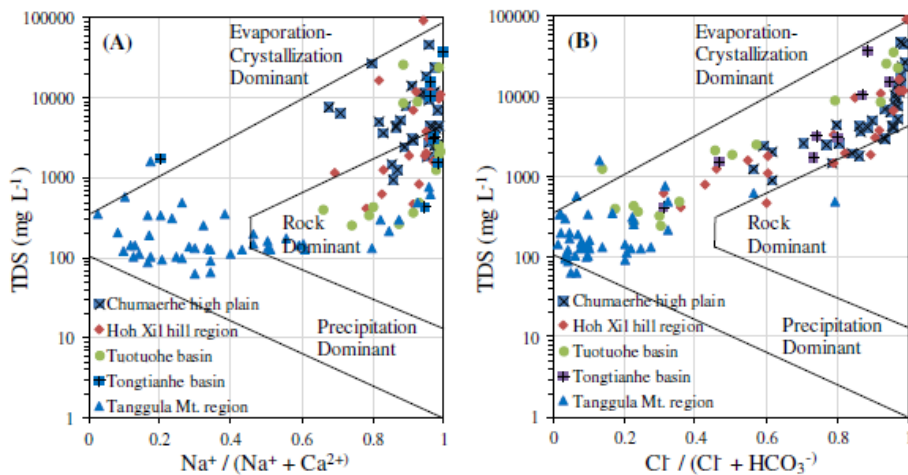


Figura 17. Diagrama de Gibbs. FUENTE: Zhu et al. (2011)

Aquí, Zhu et al (2011) observa que las muestras de agua en CHP, HXHR, TuB y ToB se caracterizan por ser de moderadas a altas concentraciones de TDS y proporciones moderadas a altas de Na^+ / ($\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+}$) y Cl^- / ($\text{Cl}^- + \text{HCO}_3^-$), lo que indica que los procesos de cristalización por evaporación y meteorización de rocas controlan los componentes hidroquímicos en estas regiones. Sin embargo, muestras de agua del MTR se caracterizan por concentraciones moderadas de TDS y bajas proporciones de Na^+ / ($\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+}$) y Cl^- / ($\text{Cl}^- + \text{HCO}_3^-$), que indican que esta zona generalmente está dominada por aguas influenciadas por la meteorización de rocas.

2.9 Modelo de dispersión de contaminantes software CORMIX

Este software es utilizado para analizar y predecir la dispersión de parámetros de un efluente en la zona de mezcla del cuerpo receptor. El punto principal de Cormix es la capacidad de predecir en base a soporte matemático geométrico, la forma de dilución al inicio de los vertidos, teniendo en cuenta las normativas para los vertidos y adicionalmente, prediciendo las características de la pluma de descarga considerando grandes distancias (Callo y Vigo, 2014, pp. 33-34). Este autor también nos menciona que en Cormix existen 4 modelos de simulación hidrodinámica y 2 modelos de simulación post-procesamiento:

- ❖ Modelo simple de simulación para un solo difusor Cormix 1 (descargas simples).
- ❖ Modelo para varios multipuertos o varios difusores sumergidos Cormix 2 (descargas múltiples).
- ❖ Modelo para descargas en superficies flotantes Cormix 3 (descargas superficiales)
- ❖ Modelo de simulación para densidades muy altas, descargas de sedimentos, múltiples difusores sumergidos o descargas en superficies laterales de zonas costeras no limitadas DYDRO (Descargas Altamente Densas)
- ❖ Modelo de Post-Procesamiento en zona de mezcla cercana de difusor sumergido o varios difusores de ambientes no limitados CORJET (Interacción cercana de las descargas)
- ❖ Modelo de Post-Procesamiento que analiza plumas a grandes distancias FFL (Interacción lejana de las descargas).

Merizalde (2009) describe la metodología de aplicación de Cormix como un mecanismo de evaluación de aguas residuales cuando ingresan a un cuerpo receptor. Los parámetros importantes de ingreso para realizar la corrida son: forma del fondo del cauce, la sección transversal y la batimetría. En este caso, se extraerá la descripción de Cormix 1, el cual fue aplicado en la presente investigación. Para correr este modelo se necesita la información del

diámetro de difusor, elevación sobre el fondo y su orientación geométrica. Además, las características del flujo de agua como el caudal de descarga, el momento del flujo y su flotabilidad (diferencia de densidades entre flujos que permite definir si el flujo se eleva o cae dentro del medio receptor).

Por otro lado, se puede definir 2 regiones diferenciadas: descarga cercana y descarga lejana. En la primera, influye en mayor medida las características iniciales del flujo, su flotabilidad y en general, el proceso de mezcla inicial que permite mostrar el comportamiento del flujo ingresado al medio. Por otro lado, la segunda se ocupa de la trayectoria y la difusión del parámetro en el ambiente, la dilución de la pluma a través de su propagación.

En general, el modelo CORMIX es una potente herramienta que nos permite conocer, a través de herramientas físicas y matemáticas, todo el proceso de descarga y mezcla de cuerpos acuáticos y predecir sus características cualitativas y cuantitativas al mezclarse.

El modelo de CORMIX, mediante su plataforma de ingreso de información, sugiere 6 tópicos de entrada, los cuales son los siguientes:

- Descripción del lugar de estudio (Proyecto)
- Características del efluente (Efluente)
- Condiciones ambientales (Ambiente)
- Características de Salida (Descarga)
- Regulación y Condiciones en la Mezcla (Zona de Mezcla)
- Control de Salida del Modelo (Salida de datos)
- Procesamiento de datos (Procesamiento)

2.10 Evaluación del riesgo ecotoxicológico

Para evaluar este tipo de riesgo ambiental se seguirá el estudio de De la Torre, Nuñez y Carballo (2004). A continuación, se mostrará un resumen de su metodología. Este es un tipo de evaluación del medio que busca la estimación de los riesgos que puede producir una sustancia química en el sistema ambiental tras incrementar su concentración. Así, se busca identificar el peligro para evaluar su peligrosidad propiamente. Para lograr esto, se necesita obtener una valorización del riesgo, a través de la obtención de un umbral que permita estimar la probabilidad de daño en el medio ambiente, y consecuentemente, en los organismos que este albergue.

Luego, para comparar el peligro potencial con el nivel de exposición en el medio, De la Torre et al. presenta una estructura usual de análisis, como se muestra a continuación:

- ❖ Evaluación de efectos (PNEC): En este primer punto se busca obtener una concentración umbral de un determinado contaminante en el agua sin que afecte la actividad y funcionamiento de los organismos locales.
- ❖ Estimación de la exposición (PEC): En este segundo punto, se busca obtener los datos reales del contaminante en la zona de estudio, de tal manera que se conozca la concentración a la que están expuestos los organismos.
- ❖ Cuantificación del riesgo: Este riesgo se evalúa a partir de la relación de los parámetros calculados en los dos puntos anteriores

2.10.1 Evaluación de los efectos: Estimación del PNEC

Como se mencionó en el punto anterior, De la Torre et al. (2004) buscó la obtención del valor umbral de concentración de un contaminante, en el que puedan coexistir los organismos sin verse afectados: un punto de vista ecotoxicológicamente aceptable. Así, esta evaluación se basa en la utilización de una metodología biológica, la cual se detalla a continuación:

- ❖ Se realizan bioensayos en una única especie bajo situaciones controladas en laboratorio, en la que analizan su desarrollo a diferentes concentraciones del contaminante, para observar efectos agudos hasta crónicos que perjudiquen seriamente su supervivencia.
- ❖ Para cuantificar ensayos agudos se utiliza el CL50, CE50 y CI50; que son concentraciones del contaminante que resultan letales para el 50 por ciento de individuos del ensayo. Se suele utilizar tiempos de 96 horas. La estimación del CE50 se realiza elaborando una curva de concentración/efecto e interpolando datos.
- ❖ Para cuantificar ensayos crónicos se utiliza el NOEC (concentración más baja del contaminante que no produce efectos), sobre el LOEC (concentración más baja del contaminante que produce efectos). Actualmente, la tendencia es sustituir el NOEC por el CE10, interpolando datos de la curva de concentración/efecto obtenida, ya que se obtienen de interpolación y no experimentalmente.
- ❖ Cálculo del PNEC: Ya conociendo todos los parámetros mencionados en los puntos anteriores, se procede a seleccionar los datos de toxicidad más sensibles para cada grupo de organismos. Al dato de toxicidad se le aplica un Factor de Valoración (FV)

tablado, de manera que se pueda asegurar la integridad de organismos más sensibles. Finalmente, la relación para obtener el PNEC es la siguiente:

$$PNEC = \frac{\text{Dato de toxicidad más sensible}}{\text{Factor de Valoración}}$$

2.10.2 Evaluación de la exposición: Estimación del PEC

De la Torre et al. menciona que la valorización de la exposición es, simplemente, la estimación de la concentración del contaminante que va a tener en la matriz ambiental. Este valor “PEC” se calcula a partir de datos de volúmenes de producción, uso, comercialización, etc.; siempre considerando el peor de los casos. Se debe considerar las propiedades del contaminante como: hidrólisis, fotólisis, degradación, absorción, etc.

2.10.3 Cuantificación del riesgo

El riesgo medioambiental viene expresado por la relación entre los parámetros calculados anteriormente: PNEC y PEC, de la siguiente manera, considerando cada matriz:

$$\frac{PEC \text{ agua}}{PNEC \text{ organismos acuáticos}}, \frac{PEC \text{ suelo}}{PNEC \text{ organismos del suelo}}, \frac{PEC \text{ sedimento}}{PNEC \text{ organismos en sedimentos}}$$

De la Torre et al. afirma que, si esta relación es menor o igual a 1 ($PEC/PNEC < 1$), se considera que la sustancia es de bajo riesgo. Por otro lado, si esta relación es mayor a 1 ($PEC/PNEC > 1$), se considera de alto riesgo y este riesgo ambiental que va aumentando conforme aumenta esta relación.

2.11 Análisis Estadístico: Coeficientes de Correlación de Pearson y Análisis por Componentes Principales

2.11.1 Coeficiente de correlación de Pearson (p)

Es utilizado para observar el grado de asociación lineal entre pares de variables con el fin de estimar un modelo de regresión. Calvo y Mora (2009) utilizan esta herramienta estadística para evaluar y clasificar preliminarmente la calidad de aguas de las cuencas de los ríos Tárcoles y Reventazón. Este coeficiente de Pearson (p) es muy útil para comparar por pares a los parámetros tomados en campo y así evaluar si se correlacionan linealmente. Si (p) es cercano a (+1), existe una correlación lineal fuerte y positiva. Esto quiere decir que a medida

que aumenta la concentración de una variable, aumenta la concentración de la otra. Por otro lado, valores cercanos a (-1) indican fuerte asociación lineal negativa. Esto quiere decir que a medida que aumenta la concentración de una variable, disminuye la concentración de la otra. Valores cercanos a 0 indican que no hay asociación lineal, por lo que no podría haber otro tipo de asociación. En términos estadísticos, para determinar si esta asociación es estadísticamente significativa, se plantea la hipótesis nula siguiente:

$$H_0: p = 0$$

En donde se plantea que la correlación es nula. Si al realizar la prueba estadística, el valor p asociado es diferente de (0), se rechaza la hipótesis nula al nivel de significancia, dado que suele ser de 95 por ciento. Ferrán (2001) afirma que esta es la manera más eficiente de corroborar las correlaciones estadísticas entre dos variables investigadas.

2.11.2 Análisis por componentes principales

Según Yengle (2009), se plantea esta metodología para buscar combinaciones lineales de las variables que se observan. El fin es obtener un resumen de los datos sin perder información. Esto quiere decir que se busca explicar las diferencias entre los datos, con una alta efectividad, de forma similar a si se analizara la información completa. Las variables no deben ser correlacionadas, con el fin de evitar las reiteraciones. Así, se transforma la información a pocos componentes principales, los cuales son combinaciones lineales de las variables, mostrando la correlación entre estas.

Las principales ventajas de esta metodología, según Peña (2014), se explican de la siguiente manera:

- Conocer nuevas variables que permitan entender más fácilmente el conjunto de datos.
- Eliminar del conjunto de datos a las variables que no aportan información al problema.
- Determinar con pocos factores, la variabilidad de los datos, a partir de nuevas variables que deben ser independientes.

Peña agrega que este método resulta muy útil para analizar datos numéricos estructurados en una tabla de M observaciones / N variables. Así, se permite:

- Visualizar y analizar rápidamente las correlaciones entre las N variables,

- Visualizar y analizar las M observaciones (inicialmente descritas por las N variables) en un mapa de menos dimensiones, la vista óptima para un criterio de variabilidad,
- Construir un conjunto de P factores correlacionados

Es asimismo importante advertir que el ACP es una herramienta estadística exploratoria y no permite en general someter hipótesis a prueba. La ventaja de este aspecto es que el ACP puede ejecutarse repetidas veces añadiendo o eliminando observaciones de las variables en cada ejecución, en la medida en que esas manipulaciones estén justificadas en las interpretaciones. Es importante mencionar que este tipo de análisis multivariado es muy útil en los estudios medioambientales, ya que en los mismos existen una gran cantidad de factores influyentes en los parámetros estudiados. Así, también es importante para poder extraer la máxima información posible de los datos trabajados (Serrano, 2003).

2.11.3 Diseño de un Análisis Factorial

Vicente et al. (2019) presenta algunos pasos para realizar el diseño estadístico mencionado, el cual, básicamente, es una técnica estadística ya mencionada que busca la reducción de datos en la información inicial y con este fin, explicar las correlaciones observadas en las variables iniciales con un número menor de variables no observadas llamadas factores. A continuación, se muestra un extracto de cada uno:

- ❖ Selección de variables: la información debe contener variables métricas.
- ❖ Tamaño muestral: se recomienda un número no menor de 50 observaciones. En general, como mínimo 5 variables por muestra y con una relación óptima de 10 variables por una muestra.
- ❖ Calcular la matriz de correlaciones (explicada en el punto 2.7.1). Luego de ello, en base a esa matriz, analizar si sus características permiten que se realice un análisis factorial. El principal requisito es mostrar que las variables están altamente correlacionadas. Montoya (2007) menciona gran parte de ellos:
 - Determinante de la matriz de correlaciones: En esta prueba, se analiza el determinante y se evalúa su valor; si es muy bajo, nos da indicios de que hay intercorrelaciones entre las variables de trabajo y por consecuencia, se puede continuar con el modelo. Cabe mencionar que el determinante no debe ser cero, ya que aquello invalidaría los resultados obtenidos.
 - Test de Esfericidad de Bartlett: Mediante una prueba estadística, se evalúa la hipótesis de que las variables de trabajo no están correlacionadas. En términos

estadísticos, se prueba que la matriz de correlaciones es o no una matriz identidad. Así, luego de aplicarlo, con un nivel de confianza menor o igual al 5 por ciento, se debería rechazar la hipótesis inicial y continuar con el modelo factorial.

- El Índice Kaiser-Meyer-Olkin: Este índice mide la adecuación de la información en el modelo factorial. Es decir, en base a este análisis, podemos saber si es apropiado utilizar el Análisis Factorial. Valores obtenidos entre 0.5 y 1 muestra que los datos son apropiados para este análisis.
- El coeficiente de correlación parcial: Indica la intensidad de las correlaciones entre dos variables, sin considerar influencia de otras. El análisis factorial se puede realizar cuando los coeficientes obtenidos se encuentran próximos a cero.
- El coeficiente de correlación anti-imagen: El análisis se puede realizar cuando la matriz de correlación anti-imagen muestra valores elevados escasos en términos absolutos y no muestra un número elevado de coeficientes ceros.
- La diagonal de la matriz de correlación anti imagen: Para utilizar el análisis factorial con este método, los valores obtenidos (MSA) deben ser los más próximos a 1, en un intervalo de 0 a 1, respectivamente. El valor mínimo aceptado para continuar con el método es 0.5.

III. METODOLOGÍA

3.1 Descripción del Área de Estudio

El área de estudio está ubicada en el distrito de Torata, Provincia de Mariscal Nieto y departamento de Moquegua. En primer lugar, se muestra el área de mayor importancia para la presente investigación. Esta se encuentra en la zona de confluencia de los ríos Coscore y Huacanane, los cuales al unirse originan al río Tumilaca. Así, definimos el punto en el cual ambos ríos han confluído, según la Tabla 3.

Tabla 3. Punto de Confluencia.

	Coordenadas UTM		Elevación
	Este	Norte	
Punto de Confluencia	310 132	8 106 175	2336 m

Fuente: Elaboración Propia

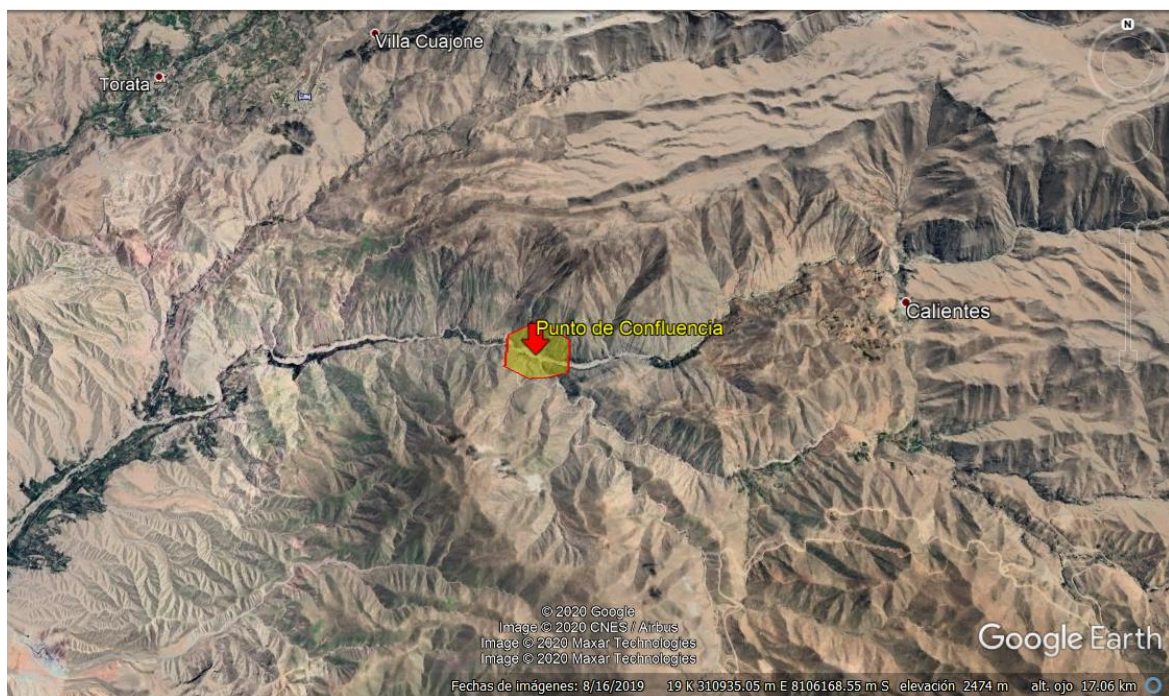


Figura 18. Mapa de Ubicación del Punto de Confluencia. FUENTE: Google Earth (2019)

Respecto a la cercanía de centros poblados con la zona de confluencia; a continuación, se muestra una tabla con las distancias de los mismos al mencionado punto, y el número de habitantes.

Tabla 4. Centros Poblados Cercanos al área de confluencia. Fuente: INEI (2020) .

Centro Poblado o Localidad	Distancia Lineal (km)	Habitantes
Calochave	5.6	2
Tala	13	65
Anata	1.6	0
Calientes	5	30
Huacanane	4.1	6
Coscore	2.5	12
Alto Coscore	5.6	25

FUENTE: Elaboración Propia

Además, la figura 19 muestra los límites distritales, provinciales y regionales en la zona, además de la ubicación espacial de los centros poblados mencionados de la tabla 4. Así, en base al concepto que precede, y con el fin de cumplir con los objetivos de la presente investigación, se toman inicialmente 3 puntos de monitoreo de calidad de agua superficial: 2 puntos aguas arriba del punto de confluencia y uno aguas abajo; próximos al mismo. Respecto a los 2 puntos aguas arriba, uno sobre el río Coscore COS-2 y el otro sobre el río Huacanane CAP-3. Por otro lado, el punto aguas abajo se encuentra sobre el río Tumilaca TUM-3. En la figura 19 se muestra la ubicación de los mismos. Mencionar además que, en base a la información disponible, el presente estudio utilizó la información de monitoreos tomados durante 2 años, 2018 y 2019, con una frecuencia mensual.

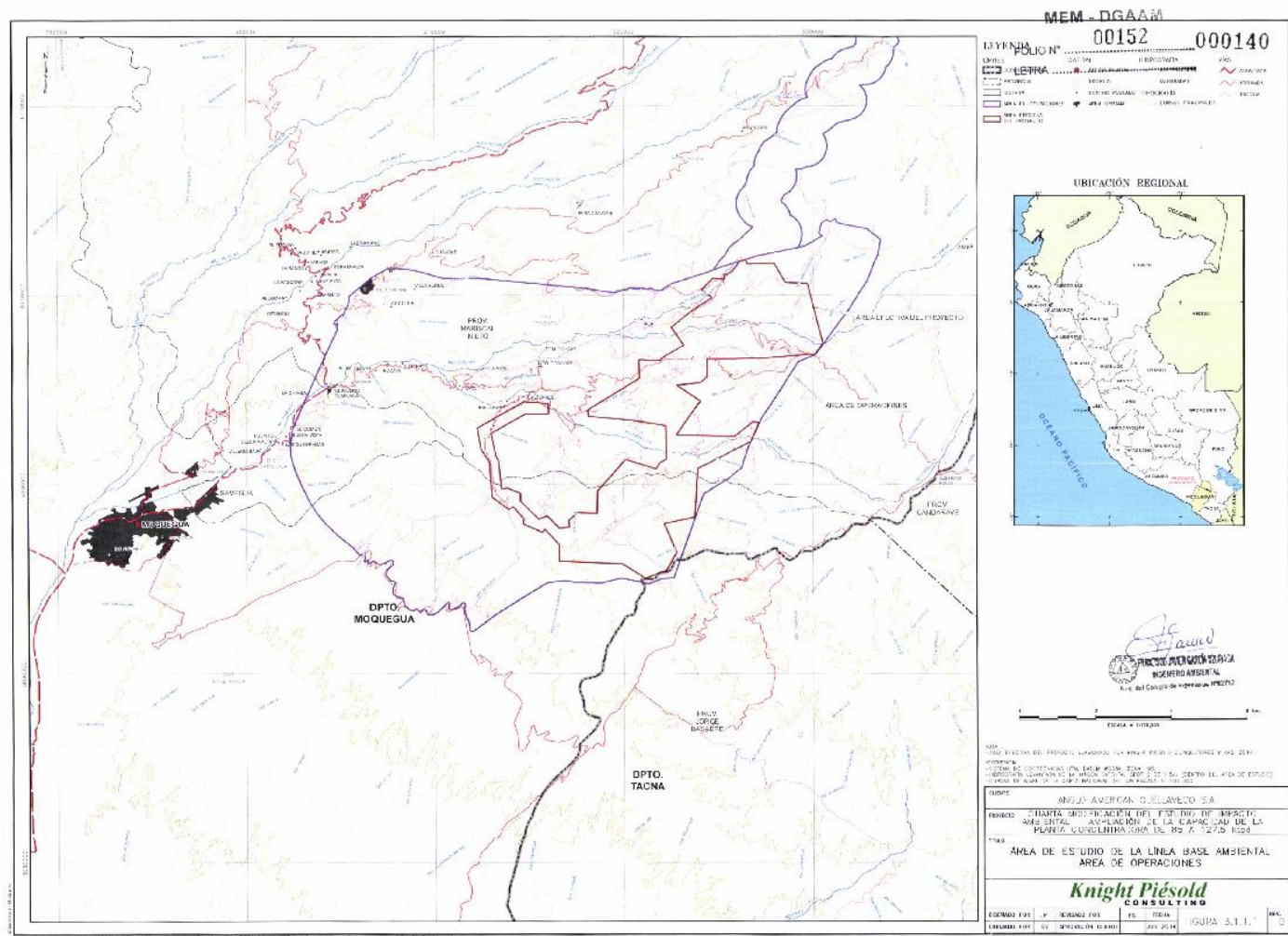


Figura 19. Mapa donde se observa la ubicación de los centros poblados cercanos a la zona de estudio. FUENTE: IV MEIA Quellaveco (2015)

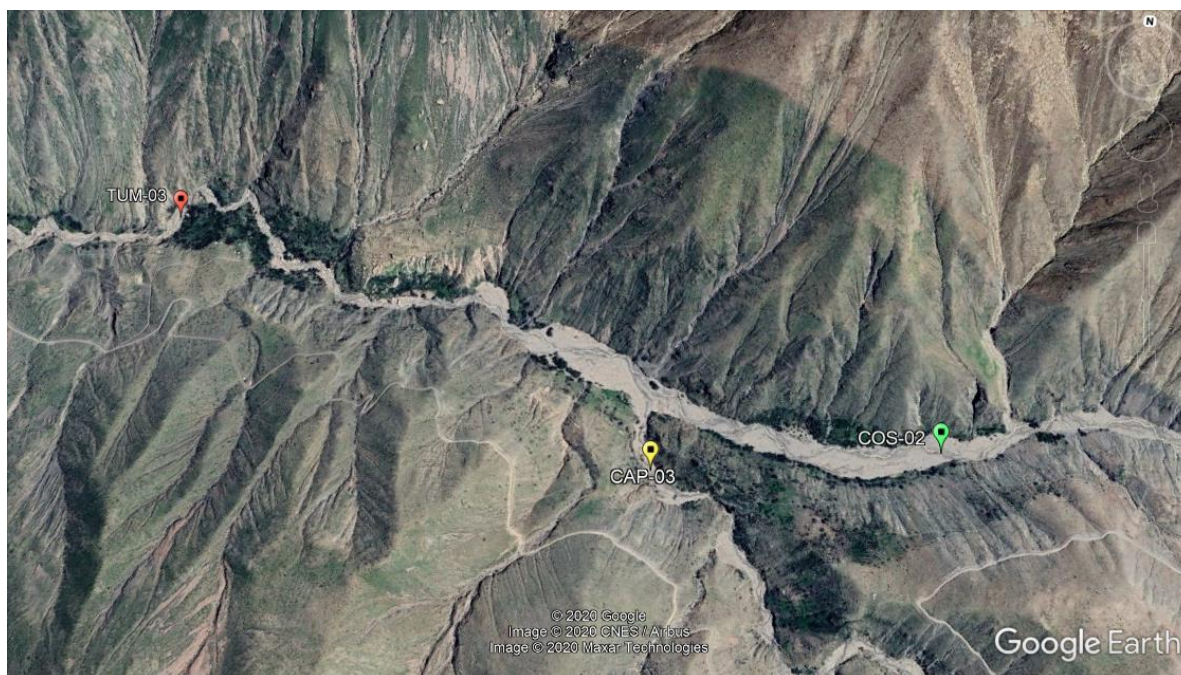


Figura 20. Ubicación de los puntos iniciales de monitoreo. FUENTE: Google Earth (2019)

Sin embargo, la presente investigación abarca un poco más que el análisis de la zona de confluencia. Además de ella, se ha seleccionado 4 puntos de monitoreo adicionales. Estos puntos están distribuidos de la siguiente manera:

- 2 puntos aguas arriba de COS-2, ubicados en los ríos Asana P-12 y Charaque CH-3, a una distancia de 11.6 y 12.3 km del punto de confluencia. Cabe mencionar que los ríos Asana y Charaque confluyen para formar el río Coscore.
- 2 puntos aguas arriba de CAP-3, ubicados en el río Capillune CAP-1 y CAP-2, a una distancia de 4 y 17 km del punto de confluencia. Cabe mencionar que el río Capillune y Quebrada Papujune confluyen para formar al río Huacanane, aguas abajo de CAP-1 y aguas arriba de CAP-2.

El motivo de la selección de los 4 puntos adicionales no fue comparar con la calidad en los puntos de la zona de confluencia sino mostrar la calidad de los cursos de agua independientemente y kilómetros antes de confluir. De esta manera, brindar un soporte a los análisis posteriores, fortaleciendo las interpretaciones de la calidad y de su naturaleza a los puntos ubicados en la zona de confluencia. La información disponible para estos 4 puntos abarca un lapso de 5 años, desde el 2011 al 2015, con una frecuencia de monitoreo mensual. En síntesis, obtenemos 7 puntos de monitoreo para la presente investigación, los cuales se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5 : Puntos de monitoreo.

Estación	Coordenadas		Elevación	Descripción	Caudales Promedio Monitoreados	Periodo de Monitoreo
	UTM Este	UTM Norte				
P-12	321575	8107971	3222 msnm	Río Asana	1.260 m ³ /s	2011-2015
CH-3	321998	8109036	3356 msnm	Río Charaque	0.246 m ³ /s	2011-2015
CAP-01	326840	8102473	3494 msnm	Río Capillune	0.149m ³ /s	2011-2015
CAP-02	313843	8104495	2730 msnm	Río Huacanane	0.122 m ³ /s	2011-2015
CAP-03	310255	8105918	2375 msnm	Río Huacanane	0.185m ³ /s	2018-2019
COS-02	311069	8106045	2412 msnm	Río Coscore	2.015 m ³ /s	2018-2019
TUM-03	308705	8106585	2239 msnm	Río Tumilaca	2.453 m ³ /s	2018-2019

FUENTE: Elaboración Propia

En la figura 20 se ha delimitado finalmente el área de estudio, de forma empírica. En esta área se tiene que, la temporada húmeda acumula un 93 por ciento de la lluvia anual durante los meses de diciembre a marzo. Por otro lado, los meses de transición, abril y noviembre, junto a la temporada seca, de mayo a octubre, acumulan el 7 por ciento restante (IV MEIA Quellaveco, 2015). Debido a ello, se considerará solo 2 temporadas anuales: los meses de temporada húmeda (de diciembre a marzo) y temporada seca (de abril a noviembre). Además, la Figura 22 muestra la información de los puntos de monitoreo respecto a sus cuencas respectivas.

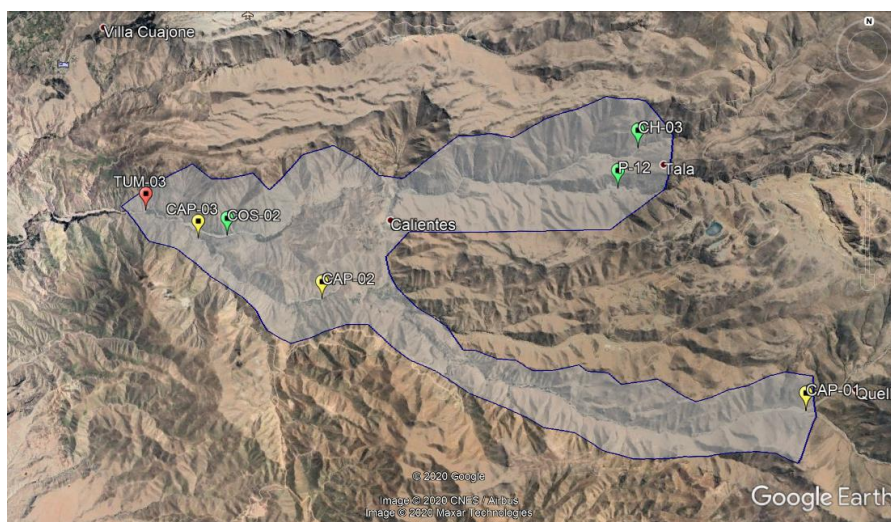


Figura 21. Área de estudio. FUENTE: Google Earth (2019)

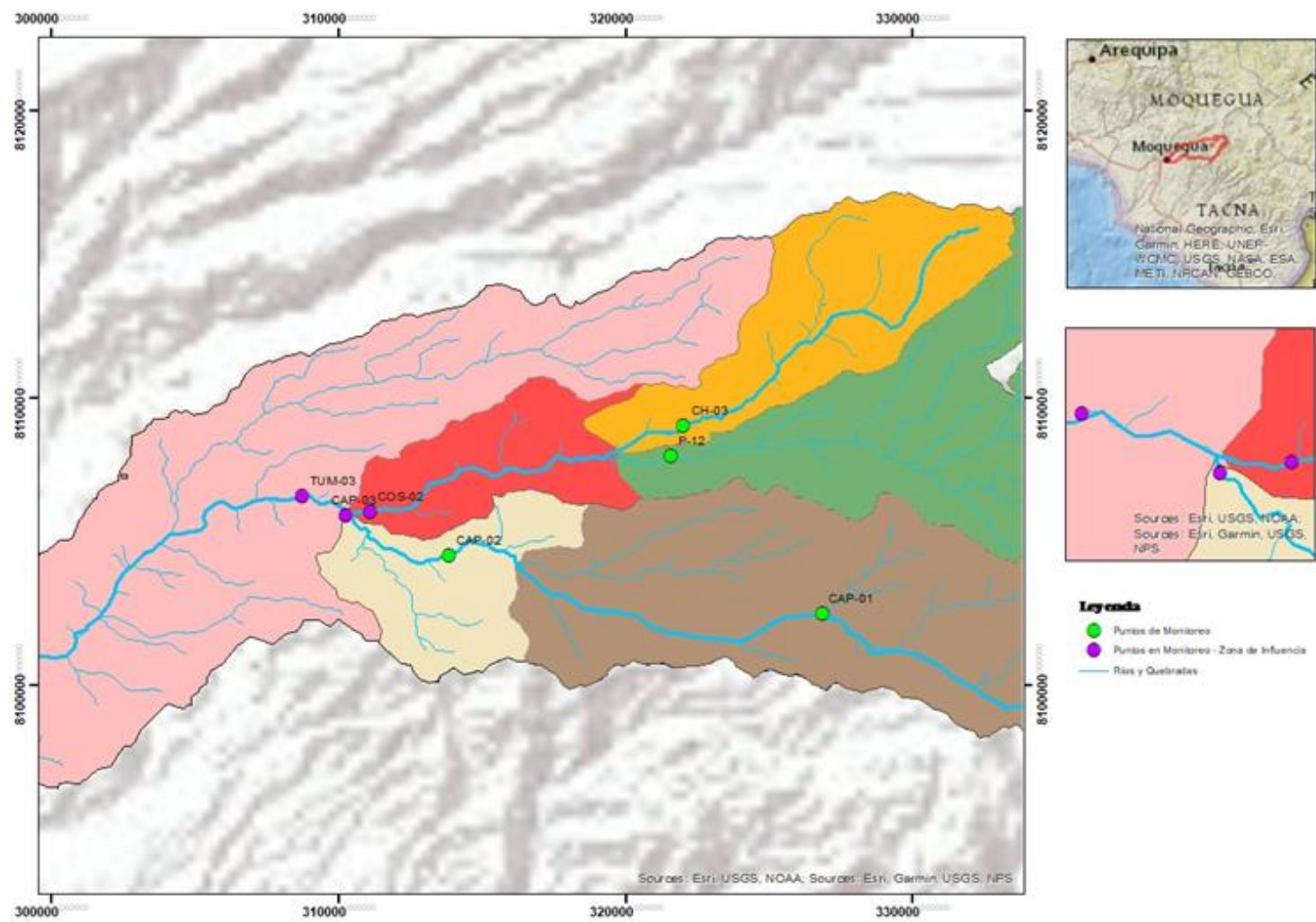


Figura 22. Red de puntos de monitoreo y sus cuencas respectivas. FUENTE: Elaboración Propia

3.2 Parámetros considerados en el monitoreo

Tabla 6: Parámetros monitoreados.

Tipo de Parámetros	Parámetros
Parámetros de Campo	Caudal, Conductividad, Oxígeno disuelto, pH (Campo), Temperatura
Parámetros Orgánicos	Aceites y Grasas, MEH, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda química de Oxígeno, Detergentes Aniónicos
Parámetros Fisicoquímicos	Alcalinidad Bicarbonato, Alcalinidad Total, Bicarbonatos, Carbonatos Dureza Total, Silicatos, Solidos Totales Disueltos, Solidos Totales Suspendidos
Parámetros Inorgánicos No Metálicos	Fosforo Reactivo Disuelto, Fósforo Total, Cianuro Libre, Cianuro Total, Cianuro Wad, Fenoles, Nitrógeno Amoniacal, Sulfuros
Aniones Por Cromatografía Iónica	Bromuro Br ⁻ , Cloruro Cl ⁻ , Fluoruros, F ⁻ Nitratos, (como N), Nitritos, (como N), Sulfatos, SO ₄ ⁻²
Parámetros Microbiológicos	Coliformes Fecales, Coliformes Totales
Metales	Cromo Hexavalente
Metales Totales por ICP-MS	Aluminio (Al), Arsénico (Ar), Antimonio (Sb), Arsénico (As), Bario (Ba), Berilio (Be), Bismuto (Bi), Boro (B), Cadmio (Cd), Calcio (Ca), Cobalto (Co), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Estaño (Sn), Estroncio (Sr), Fósforo (P). Hierro (Fe), Litio (Li). Magnesio (Mg), Manganeso (Mn), Mercurio (Hg). Molibdeno (Mo). Niquel (Ni), Plata (Ag), Plomo (Pb), Potasio(K), Selenio, (Se), Silicio (Si), Talio (Tl), Uranio (U), Vanadio (V), Zinc (Zn)

FUENTE: Elaboración Propia.

3.3 Materiales

En la presente investigación se considera como material de trabajo a los siguientes elementos:

- La información obtenida de los monitoreos ambientales realizados para la elaboración de Estudios de Impacto Ambiental del Proyecto Quellaveco de AngloAmerican, y monitoreos ambientales como parte del cumplimiento de los compromisos ambientales en su instrumento de gestión ambiental.
- Las Plantillas de Cálculo de Excel, que permitieron realizar los cálculos, tablas y gran parte de los gráficos mostrados en la presente investigación.
- Softwares como ArcGis, Google Earth, Diagrammes y Cormix, que complementaron y generaron información presta a discusión.
- La información académica en general, tales como artículos, libros y publicaciones científicas nacionales e internacionales, que permitieron el análisis del presente estudio.
- Laptop

3.4 Métodos y procedimiento

El presente estudio contó con 3 etapas definidas. La primera enfocada en el análisis puntual de los datos de monitoreo en los 7 puntos definidos. Este análisis espacial, temporal, hidroquímico e hidrogeológico permitió mostrar las características de los cuerpos acuáticos trabajados bajo diversos mecanismos. La segunda etapa estuvo enfocada específicamente en la zona de confluencia, con el fin de modelar parámetros críticos luego de interaccionar ambos cuerpos de agua y a partir de allí, realizar una evaluación del riesgo ambiental ecotoxicológico con especies de la zona. Finalmente, la tercera etapa fue la evaluación estadística, que brindó un respaldo a las discusiones obtenidas del análisis. Todo lo anterior mencionado nos permitió finalizar la evaluación y obtener conclusiones con un panorama amplio, claro y preciso.

3.4.1 Evaluación espacial y temporal de la calidad del agua

Respecto a la evaluación espacial y temporal de calidad de agua, se utilizó los indicadores ICA-PE, IPA e IM. El ICA-PE es el indicador utilizado por la ANA para evaluar la calidad de agua en cuerpos de agua dentro del territorio peruano, por lo que es apropiado su aplicación en esta evaluación. Cabe mencionar que el ICA solo considera al análisis a

parámetros que estén incluidos dentro de los estándares de calidad ambiental. Por otro lado, el IPA e IM son indicadores que evalúan la calidad de agua respecto a los metales desde 2 criterios diferentes por lo que también es apropiado realizar ambos y comparar los resultados obtenidos. Para realizar los cálculos de los mismos, se utilizó una plantilla de cálculos de Microsoft Excel 2016. Así, las fórmulas a aplicar son las siguientes:

❖ ICA-PE

$$ICA - PE = 100 - \sqrt{\frac{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}{3}}$$

De donde:

$$F_1 = \frac{\text{Número de parámetros que no cumplen con la normativa}}{\text{Número total de parámetros a evaluar}} * 100$$

$$F_2 = \frac{\text{Número de parámetros que no cumplen con la normativa de los datos evaluados}}{\text{Número total de datos evaluados}} * 100$$

$$F_3 = \frac{\text{Suma normalizada de excedentes (nse)}}{\text{Suma normalizada de excedentes(nse) + 1}} * 100$$

:

De esta última:

$$nse = \frac{\sum_i = Excedente_i}{\text{Total de datos}}$$

Para hallar el *Excedente_i*, se debe considerar qué:

- Caso 1: Cuando el valor de concentración del parámetro supera al valor establecido en la normativa, se calcula de la siguiente manera:

$$Excedente_i = \frac{\text{Valor del parámetro que no cumple con la normativa}}{\text{Valor establecido en la normativa}} - 1$$

- Caso 2: Cuando el valor de concentración del parámetro es menor al valor establecido en la normativa, incumpliendo con la condición señalada en el mismo, se calcula de la siguiente manera:

$$Excedente_{ii} = \frac{\text{Valor establecido del parámetro en la normativa}}{\text{Valor del parámetro que no cumple con la normativa}} - 1$$

El valor se calificará de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 7. Calificación ICA-PE

ICA - PE	Calificación
90-100	Excelente
75-89	Bueno
45-74	Regular
30-44	Malo
0-29	Pésimo

FUENTE: ANA (2018)

❖ Índice de Polución de Agua (IPA)

$$IP = \frac{\sqrt{\left(\frac{C_i}{S_i}\right)_{max}^2 + \left(\frac{C_i}{S_i}\right)_{min}^2}}{2}$$

De donde:

Ci: Concentración de cada elemento

Si: Concentración del metal en la normativa

Tabla 8. Calificación IPA

Valor IPA	Calificación
<1	No afectado
1-2	Levemente afectado
2-3	Moderadamente afectado
3-5	Fuertemente afectado
>5	Seriamente afectado

FUENTE: Adaptado de Goher et al. (2014)

❖ Índice de Metales (IM)

Cuanto mayor es la concentración del metal respecto a su máxima concentración permitible (MCP) en la normativa ambiental, peor es la calidad del agua. El valor que es mayor a 1 es el estado umbral de advertencia.

$$IM = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{MCP_i}$$

3.4.2 Evaluación hidroquímica

Se evaluaron las características hidroquímicas de la calidad de agua, los cuales corresponden a los Diagramas de Piper, Diagrama de Schoeller-Berkaloff, Diagrama de Stiff y el Diagrama de Stabler. Para realizar estos diagramas, se utilizó el programa DIAGRAMMES, el cual es un software francés libre, validado por la Universidad de Avignon, para análisis químico de aguas. La realización de esta etapa tuvo los siguientes pasos:

1. Introducción de datos

Se introdujo la información de los monitoreos de los parámetros relevantes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} y Alcalinidad Total ($\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$ y NO_3^-). Para la ejecución y generación de gráficos correspondientes se utilizó una Plantilla de Microsoft Excel, con un formato determinado y según se muestra en la siguiente figura:

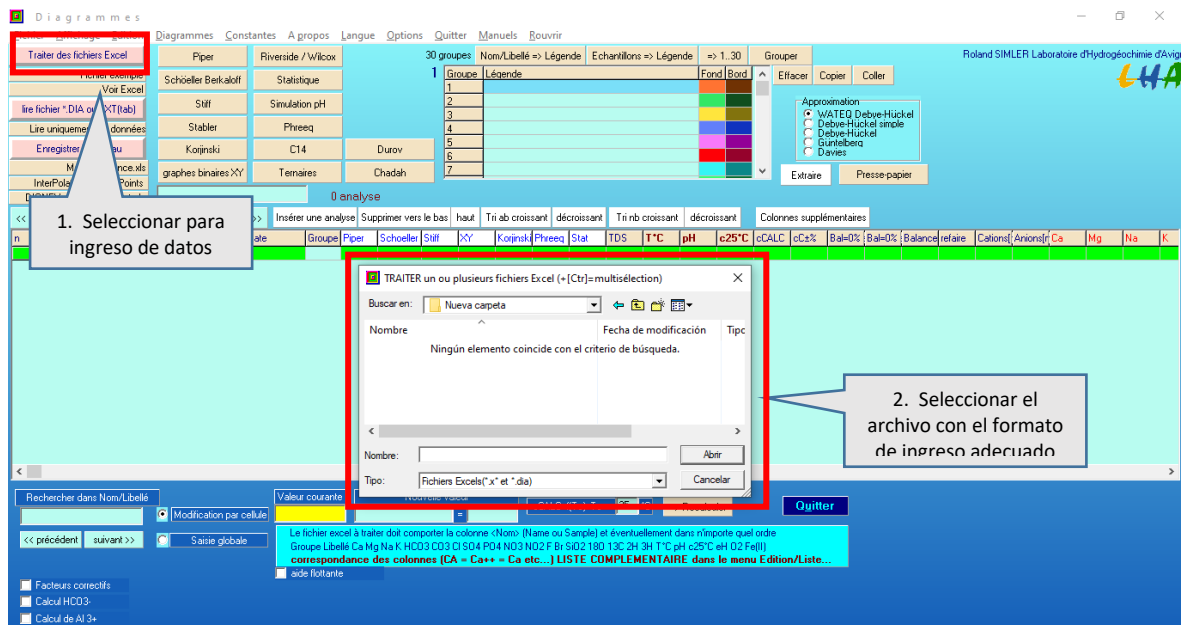


Figura 23. Interfaz de entrada. FUENTE: Elaboración Propia

2. Selección y Generación de Gráficos

Luego de haber ingresado la plantilla de datos, se selecciona los datos que se desea mostrar. Respecto a ello, estos datos estuvieron determinados por la naturaleza del diagrama y de la plataforma del software. Esto debido a que el Diagrama de Piper puede mostrar el total de datos en un solo gráfico. En el diagrama de Schoeller-Berkaloff, de Stiff y de Stabler se obtienen gráficos por dato de monitoreo y, además, la plataforma del software solo permite mostrar 14 datos para cada análisis (considerar que para cada punto de monitoreo se tiene entre 20 y 60 datos correspondientes a los monitoreos mensuales realizados). Debido a todo

lo mencionado, y con el fin de mostrar gráficos de manera representativa para obtener información relevante, se ordenó la información de la siguiente manera.

- Diagrama de Piper: Muestra la información de cada punto o grupo de puntos de monitoreo en un solo gráfico.
- Diagrama de Schoeller-Berkaloff, Stiff y Stabler: Muestra la información correspondiente al promedio anual, promedio mensual de temporada húmeda (diciembre a marzo) y promedio mensual de temporada seca (de abril a noviembre).

Respecto a los puntos P-12, CH-3, CAP-1 y CAP-2, y para los diagramas de Schoeller-Berkaloff, Stiff y Stabler, los cuales están compuestos de datos de monitoreo mensual desde el 2011 al 2015; se muestra el promedio anual, de temporada húmeda y temporada seca para cada año, acumulando así 3 datos por año de monitoreo y 15 datos en total para los 5 años. Sin embargo, debido a la capacidad de la plataforma de mostrar un máximo de 14 datos a la vez, el año 2011 solo muestra 2 datos correspondiente al promedio mensual anual y de temporada seca. Así, el gráfico generado muestra esta información por cada punto de monitoreo, obteniéndose por consiguiente 4 gráficos, de cada punto, por tipo de diagrama.

Por otro lado, los puntos de monitoreo COS-2, CAP-3 y TUM-3, los cuales están compuestos de datos de monitoreo mensual desde el 2018 al 2019, al igual que los puntos anteriores, se muestra el promedio anual, de temporada húmeda y temporada seca, acumulando así 3 datos por año de monitoreo. Sin embargo, los gráficos generados aquí se comparan por cada año de monitoreo, 2018 y 2019, (y no por punto) para los 3 puntos de monitoreo a la vez, ya que el fin es comparar las características en la zona de confluencia, obteniéndose por consiguiente 2 gráficos por tipo de diagrama (uno por comparación de cada año).

Finalmente, aclarado los párrafos precedentes, se continuó con la generación de gráficos según el diagrama que se requiera. Se seleccionó los parámetros y se procedió a extraer la información para su posterior interpretación.

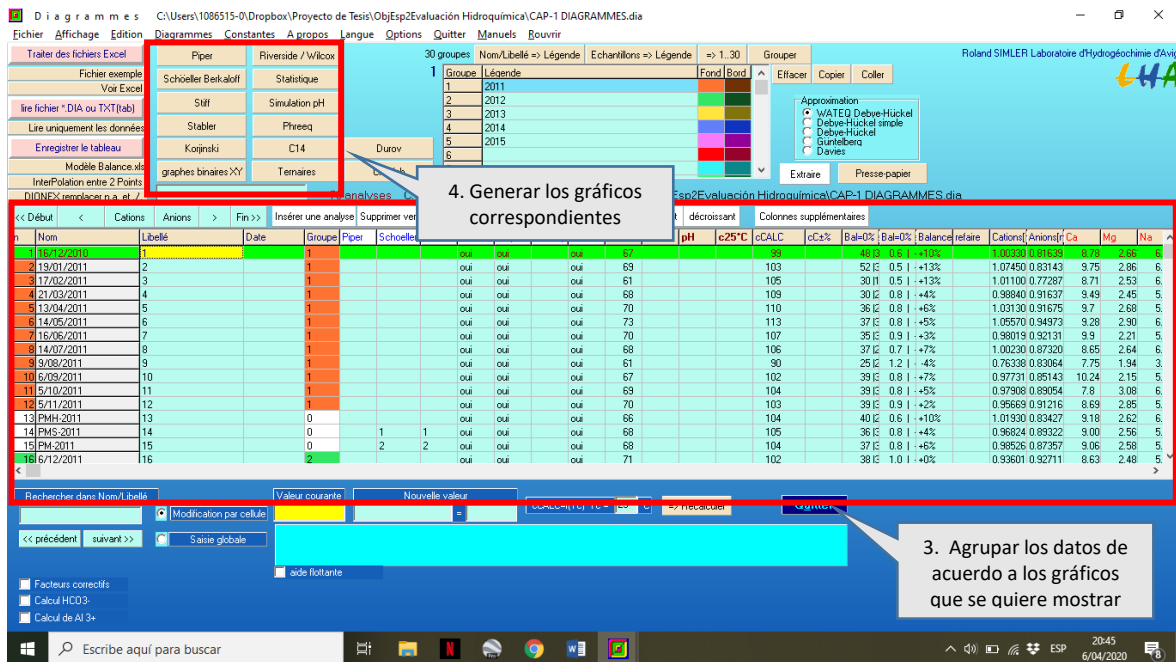


Figura 24. Generación de Gráficos. FUENTE: Elaboración Propia

3.4.3 Evaluación de los procesos hidrogeológicos influyentes en la calidad de agua superficial

Se evaluó las relaciones de iones específicos Mg/Ca vs Mg/Na y el Diagrama de Gibbs con el fin de evaluar los procesos hidrogeológicos influyentes en la hidroquímica del agua superficial.

1. Selección de datos:

Los gráficos a generar utilizan toda la información recopilada a través de los monitoreos ambientales en los 7 puntos trabajados en la presente investigación. Es decir, para P-12, CH-3, CAP-1 y CAP-2, información de monitoreo mensual desde el 2011 al 2015. Por otro lado, para los puntos COS-2, CAP-3 y TUM-3, información de monitoreo mensual del 2018 y 2019. Los gráficos se generaron por punto de monitoreo, en donde se contiene la información del lapso correspondiente (2 o 5 años), separado anualmente. Para los primeros 4 puntos, análisis los agrupó en parejas de acuerdo a su punto de referencia (aguas arriba de COS-2 o CAP-3), y los últimos 3 fueron analizados en solo análisis (zona de confluencia).

2. Generación de Gráficos

- ❖ Relaciones de Iones Específicos Mg/Ca vs Mg/Na

Se graficó mediante una plantilla de Microsoft Excel las siguientes relaciones:

$$\text{Eje X: } \frac{Mg}{Ca}$$

$$\text{Eje Y: } \frac{Mg}{Na}$$

Seguidamente, de acuerdo a la posición, se discutió el tipo de proceso predominante, tal como el ejemplo mostrado en la revisión bibliográfica.

❖ Diagrama de Gibbs

Al igual que el punto anterior, se realizó este gráfico mediante una plantilla de Microsoft Excel, las siguientes relaciones:

$$\text{Gráfico 1} \rightarrow \text{Eje X: } \frac{Na^+}{(Na^+ + Ca^{2+})} ; \text{Eje Y: TDS ; y}$$

$$\text{Gráfico 2} \rightarrow \text{Eje X: } \frac{Cl^-}{(Cl^- + HCO_3^-)} ; \text{Eje Y: TDS}$$

Seguidamente, de acuerdo a la posición, se discutió el tipo de proceso dominante.

3.4.4 Modelado de mezcla de cursos de agua mediante Cormix

1. Selección de Parámetros a Modelar

En primer término, se seleccionó 3 parámetros críticos, los cuales se encuentren presentes en ambos cursos de agua. Los puntos de monitoreo que participan de este análisis son: COS-2, CAP-3 y TUM-3.

2. Realización del Modelado

Se utilizó la función simulación de la mezcla y la evaluación de la dispersión de los contaminantes identificados, a través de CORMIX 1, considerando al río Huacanane como el afluente y al río Coscore como el río receptor. A partir de allí, se llenó la interfaz con los datos de campo obtenidos del Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Quellaveco, información bibliográfica y estimaciones obtenidas de Google Earth.

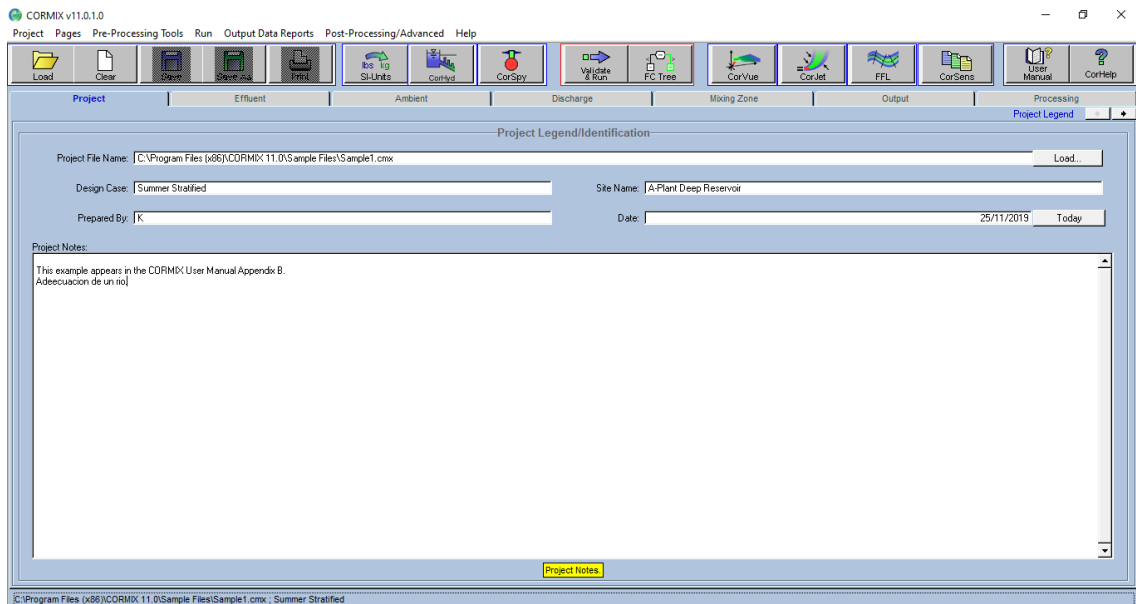


Figura 25. Interfaz de entrada de Cormix. FUENTE: Propia

Ya escogidos los parámetros críticos en la calidad de aguas, se procedió a realizar la simulación, obteniendo los gráficos de dispersión espacial y, además, las concentraciones estimadas de cada contaminante a diferentes distancias aguas abajo del punto de mezcla.

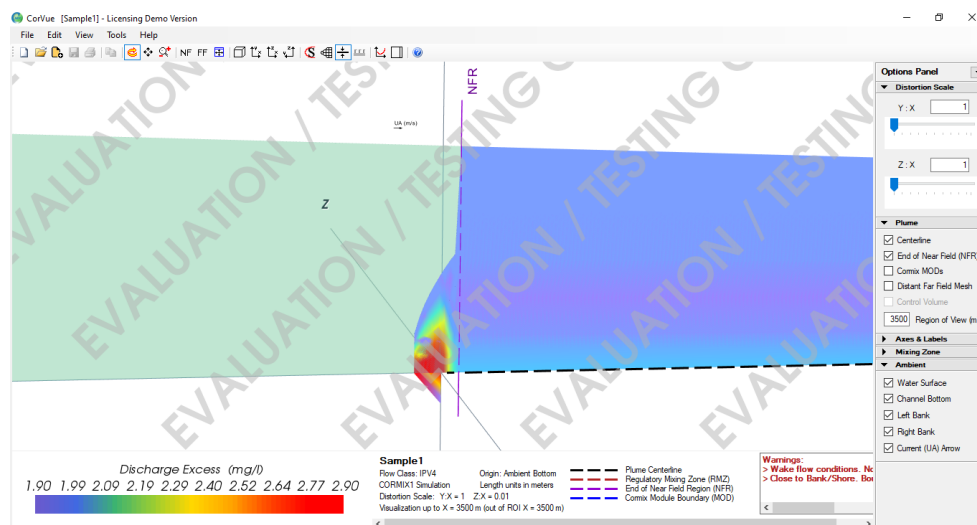


Figura 26. Simulación de mezcla y datos relevantes marcados con naranja. FUENTE: Elaboración propia

- Temperatura o Densidad
- 3. Condiciones hidrodinámicas
 - Rugosidad
- 4. Estabilidad del ambiente
 - Tipo
 - Caudal
- 5. Limites
 - Borde
 - Ancho del cuerpo receptor
 - Apariencia del flujo

d) Descarga – Datos requeridos:

Pestaña de tipo de modelo

1. Banco Cercan
2. Distancia al banco cercano
3. Angulo vertical THETA
4. Angulo Horizontal SIGMA
5. Diámetro del puerto
6. Altura del chorro

e) Zona de mezcla – Datos requeridos

1. Tipo de efluente
2. Estándar de calidad de agua
3. Región de interés
4. Intervalos de grillas

f) Salida de datos: Se selecciona la forma en la que los datos serán corridos; que puede ser por ventana emergente, impresos, ambos o ninguno. Entre las opciones se tiene:

1. Archivo de predicción
2. Reporte de la sesión
3. Recomendaciones de diseño
4. Registro de procesamiento

g) Procesamiento de datos: Se selecciona la forma en la que los datos serán corridos; en este caso se seleccionó la simulación completa.

3. Interpretación y comparación con data de campo

En este punto se realizó la interpretación de los resultados obtenidos en la simulación en base a la data y condiciones proporcionadas al software y, además, se comparó los resultados del modelado con los datos reales de monitoreo que se han obtenido en los puntos de monitoreo TUM-3, los cuales se encuentran aguas debajo de la zona de mezcla y se discutió la eficiencia del modelo y las posibles variables adicionales influyentes.

3.4.5 Evaluación del riesgo ecotoxicológico

Para ello, se procedió de la siguiente manera:

- ❖ Evaluación de efectos (PNEC): En este primer punto se buscó obtener una concentración umbral de un determinado parámetro en el agua sin que afecte la actividad y funcionamiento de los organismos locales o de referencia. Este dato se estimó a partir de la bibliografía encontrada para especies locales. Seguidamente, y siguiendo con la teoría, se le asignó un factor de valoración obteniéndose:

$$PNEC = \frac{\text{Dato de toxicidad más sensible}}{\text{Factor de Valoración}}$$

- ❖ Estimación de la exposición (PEC): En este segundo punto, se buscó obtener los datos del parámetro en la zona de estudio, de tal manera que se conozca la concentración a la que están expuestos los organismos. La valorización de la exposición es, simplemente, la estimación de la concentración, la cual ya se ha obtenido en el modelado anterior.
- ❖ Cuantificación del riesgo: Este riesgo se evalúa a partir de la relación de los parámetros calculados en los dos puntos anteriores

$$\frac{PEC \text{ agua}}{PNEC \text{ organismos acuáticos}}$$

Si esta relación es menor o igual a 1 ($PEC/PNEC < 1$), se considera que la sustancia es de bajo riesgo. Por otro lado, si esta relación es mayor a 1 ($PEC/PNEC > 1$), se considera un riesgo ambiental que va aumentando conforme aumenta la concentración.

3.4.6 Análisis Estadístico: Coeficientes de Correlación de Pearson y Análisis por Componentes Principales

Respecto a la evaluación estadística, se empleó el Análisis por Componentes Principales, el cual incluye dentro del propio método la realización de la matriz de coeficientes de correlación de Pearson bivariada. Se aplicó este método (ACP) debido a que es el más apropiado para el caso (estudio medioambiental), en los cuales existen una gran cantidad de factores que influyen en los parámetros a estudiar y es importante extraer la información relevante de los mismos, recalcando que este método cumple con este fin (Serrano, 2003). Para realizarlo se utilizó el programa XLSTAT, el cual es un complemento para el análisis de datos para Microsoft Excel. Los pasos para la aplicación de este programa fueron los siguientes:

1. Tratamiento previo de los datos

Para realizar el análisis estadístico se tuvo las siguientes consideraciones previas con los datos:

- Los valores por debajo del límite de detección (LD) se reemplazaron con el propio valor límite, el cual varió de acuerdo a la naturaleza del método.
- No se consideraron las columnas (parámetros) con falta del 30 por ciento o más de datos de monitoreo registrados globalmente en cada punto de monitoreo.
- Los datos ausentes se reemplazaron por el promedio global de monitoreo en cada columna
- Se descartaron las columnas con datos constantes en todos los monitoreos registrados.
- Se descartaron las columnas que solo presentaron datos de valores por debajo del límite de detección

2. Aplicación del Software – Selección del Método Estadístico

Se seleccionó la función de ACP, la cual a su vez también genera el coeficiente de correlación de Pearson y el test KMO.

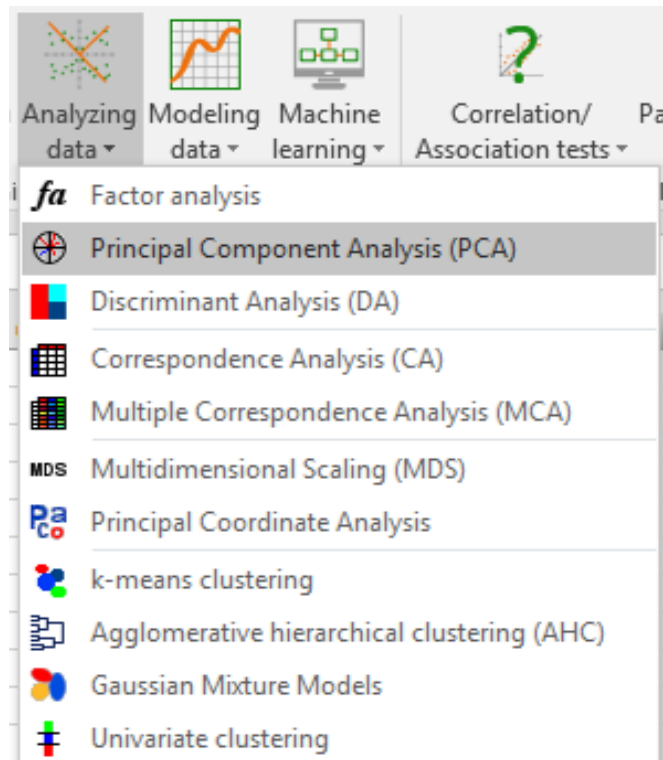


Figura 28. Selección de datos. FUENTE: XLSTAT (2019)

3. Tipo de análisis

Se seleccionó el tipo de matriz que genera el coeficiente de correlación de Pearson, según se indica en la siguiente figura

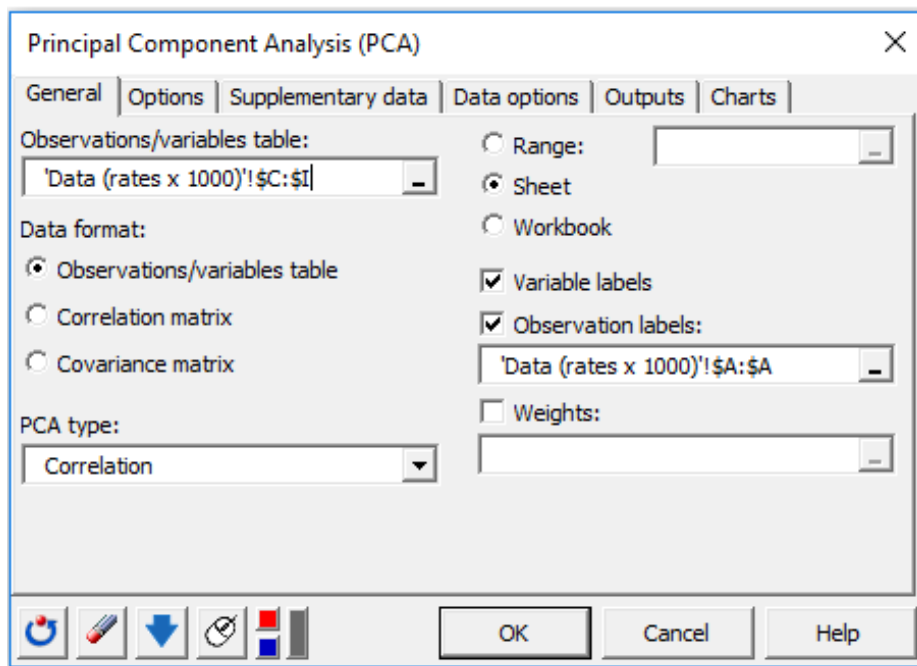


Figura 29. Procedimiento a seguir. FUENTE: XLSTAT (2019)

4. Evaluación de pertinencia del método (Test KMO)

Es conveniente, según la revisión bibliográfica, realizar un test que evalúe si es apropiado realizar el análisis factorial. En este caso, en base a las características de los datos obtenidos, se seleccionó el Índice de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO). Así, el criterio de valoración del índice se muestra en la Tabla 9. La extensión de Microsoft Excel XLSTAT realizó el cálculo y se extrajo el valor por análisis.

Tabla 9. Criterios de aplicación prueba KMO.

Criterio	Valoración	Aplicación
$1 \geq KMO > 0.9$	Muy bueno	Apropiada, Aceptable
$0.9 > KMO > 0.8$	Bueno	
$0.8 > KMO > 0.7$	Mediano	
$0.7 > KMO > 0.6$	Regular	
$0.6 > KMO \geq 0.5$	Bajo	
$KMO < 0.5$	Inaceptable	Inapropiada, inaceptable

FUENTE: Adaptado de Vicente et al. (2019) y Montoya (2007)

5. Interpretación de datos

Finalmente, luego de superado el test de adecuación KMO, se obtuvo la matriz de correlaciones bivariada y la tabla de valores propios. Seguidamente se procedió con la interpretación de los mismos.

Correlation matrix:							
	Net Domestic	ilian move f.	Int. Migrat	Period Birth	eriod Death	65 Pop. Es	65 Pop. Est.
Net Domes	1	0.020	0.206	-0.060	-0.232	0.095	-0.095
Federal/Civ	0.020	1	-0.133	-0.308	0.422	-0.377	0.377
Net Int. Mi	0.206	-0.133	1	0.295	-0.412	0.204	-0.204
Period Birt	-0.060	-0.308	0.295	1	-0.506	0.640	-0.640
Period Dea	-0.232	0.422	-0.412	-0.506	1	-0.779	0.779
< 65 Pop.	0.095	-0.377	0.204	0.640	-0.779	1	-1.000
> 65 Pop.	-0.095	0.377	-0.204	-0.640	0.779	-1.000	1

In bold, significant values (except diagonal) at the level of significance alpha=0.050 (Two-tailed test)

Eigenvalues:						
	F1	F2	F3	F4	F5	F6
Eigenvalue	3.567	1.173	0.835	0.776	0.444	0.204
variance %	50.964	16.756	11.932	11.091	6.342	2.914
cumulated	50.964	67.720	79.652	90.744	97.086	100.000

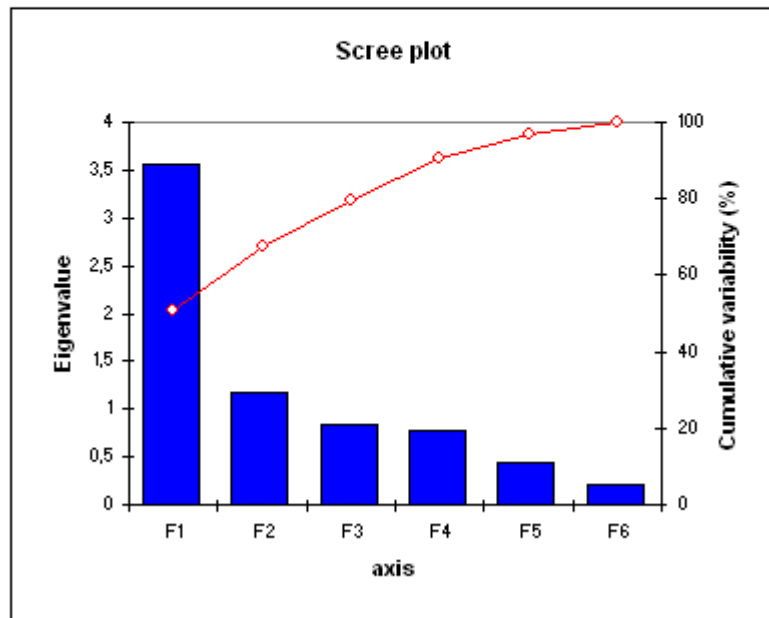


Figura 30. Tablas y Gráficos obtenidos. FUENTE: XLSTAT (2019)

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Evaluación espacial y temporal de la calidad del agua

La evaluación espacial y temporal comprende la aplicación de indicadores de calidad ambiental, con el fin de comparar la calidad del agua en los distintos puntos de monitoreo, desde una óptica cualitativa. En este caso, específicamente, se utilizó indicadores de calidad de agua (ICA-PE) e indicadores de metales (IPA e IM). A continuación, se muestran los resultados obtenidos y la discusión de los mismos.

A. Indicador de Calidad de Agua ICA-PE

❖ Aguas Arriba de COS-2 y CAP-3

En primer lugar, se evaluó la calidad del agua superficial de la cuenca en los 4 puntos aguas arriba de la zona de confluencia de los cursos considerados en la presente investigación. Esta evaluación está dada desde el año 2011 al 2015 y se realiza con el fin de mostrar la evolución de calidad del agua en estos años. A continuación, se muestra una tabla resumen de los resultados obtenidos, la cual se ha clasificado la calidad considerando datos globales, temperatura seca (de abril a noviembre), temperatura húmeda (de diciembre a marzo) y por último una evaluación por año, con el fin de mostrar la evolución de la calidad de agua año a año.

Tabla 10. Evaluación ICA-PE global

ID	Ubicación del punto	ICA-PE Global
CAP-1	Río Capillune	42
		Malo
CAP-2	Río Capillune	39
		Malo
CH-3	Río Charaque	54
		Regular
P-12	Río Asana	81
		Bueno

FUENTE: Elaboración Propia

Tabla 11. Evaluación ICA-PE por temporadas y anual durante el período 2011-2015.

ID	Ubicación del punto de monitoreo	ICA-PE						
		Temporada Húmeda	Temporada Seca	2011	2012	2013	2014	2015
CAP-1	Río Capillune	42 Malo	97 Excelente	100 Excelente	100 Excelente	43 Malo	100 Excelente	98 Excelente
	Río Huacanane	40 Malo	41 Malo	42 Malo	43 Malo	41 Malo	41 Malo	41 Malo
CH-3	Río Charaque	54 Regular	97 Excelente	86 Bueno	56 Regular	100 Excelente	100 Excelente	82 Bueno
	Río Asana	84 Bueno	95 Excelente	87 Bueno	97 Excelente	93 Excelente	100 Excelente	100 Excelente

FUENTE: Elaboración Propia

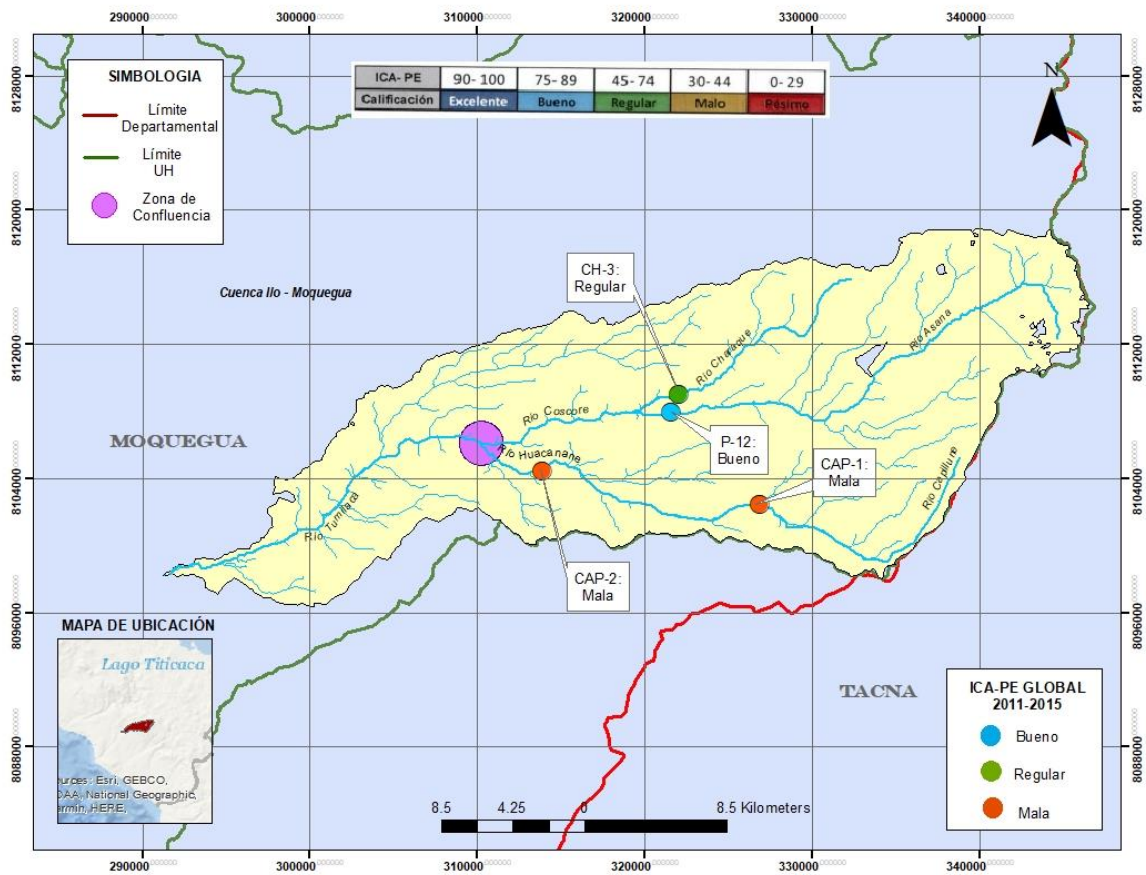


Figura 31. Evaluación ICA-PE global. FUENTE: Propia.

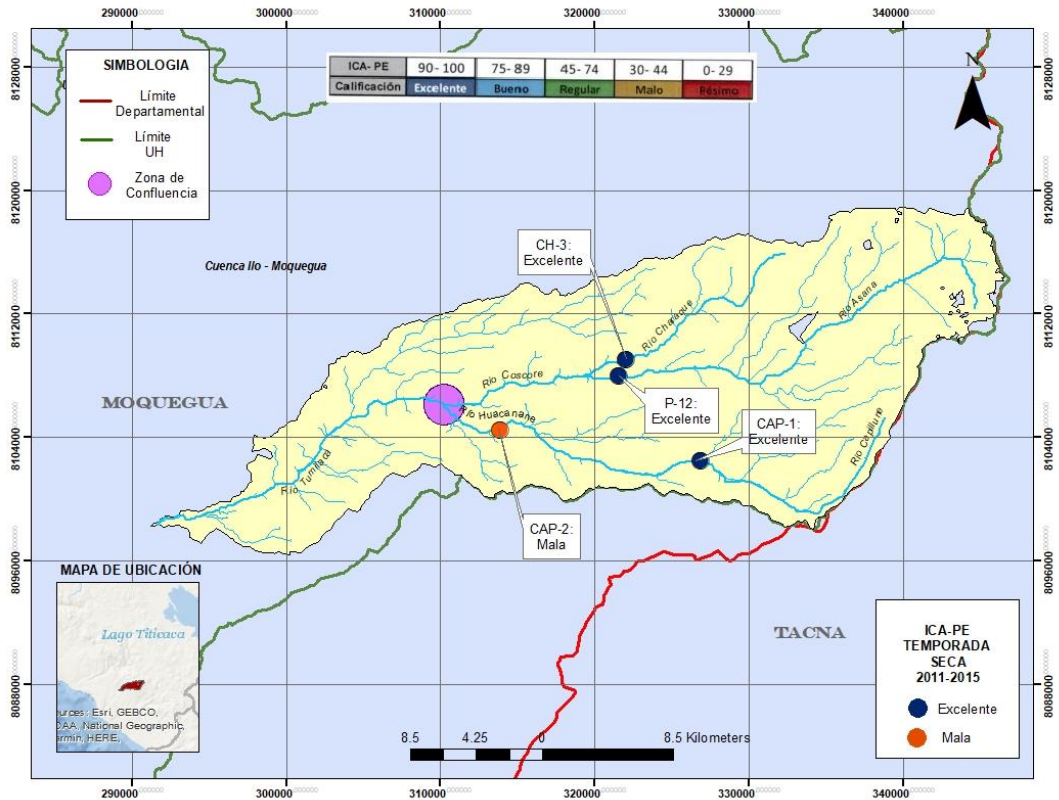


Figura 32. Evaluación ICA-PE temporada seca. FUENTE: Propia

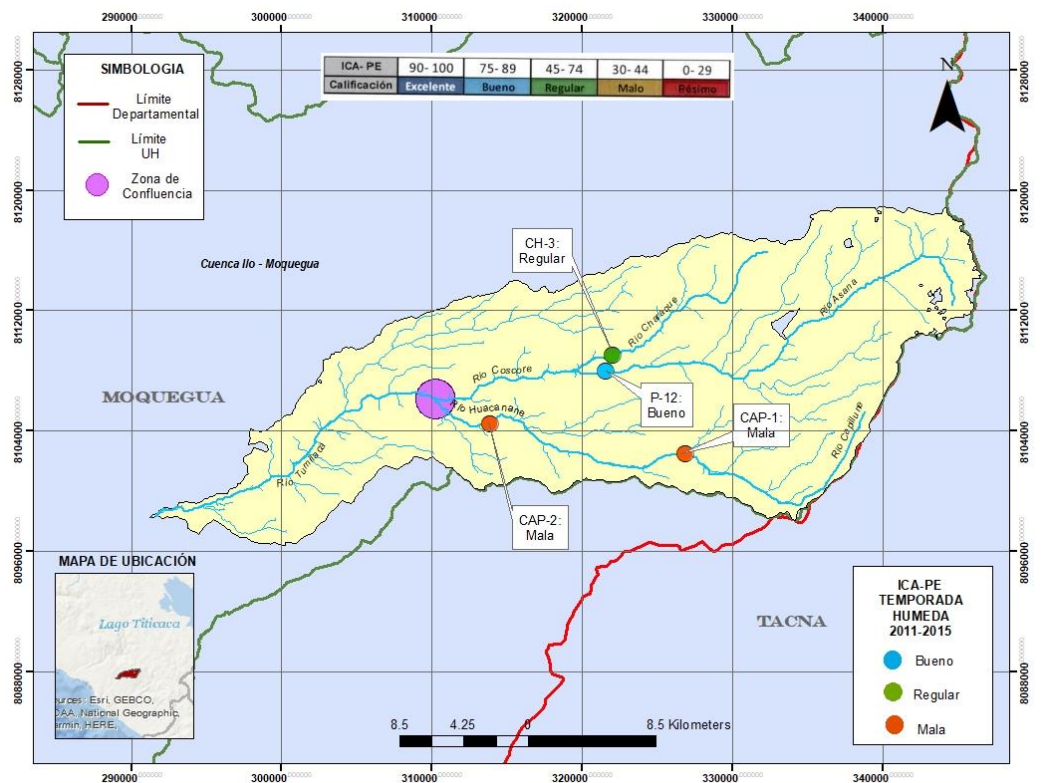


Figura 33. Evaluación ICA-PE temporada húmeda. FUENTE: Propia

Respecto al curso aguas arriba del río Huacanane, se observa que en el punto de monitoreo más alejado (CAP-1), la calidad de agua general en los 5 años de monitoreo es MALA. Esto se debe a, como se muestra en el análisis anual y temporal, para la temporada 2013 muestra altos niveles de metales pesados, específicamente en el monitoreo de enero 2013. En este monitoreo, incluso se muestra niveles de Hierro de 37.28 mg/L y Aluminio 42.61 mg/L (ECA: 5mg/L para ambos casos). Por otro lado, el otro punto monitoreado más cercano a los puntos de la zona de confluencia (CAP-2) muestra una calidad general para los 5 años de monitoreo también de MALA. Esto se debe a la excedencia de varios parámetros. Sin embargo, lo que resalta de esta excedencia es la constancia en los parámetros de Fluoruros y Boro. Estos parámetros superan el ECA en casi todos los monitoreos realizados, evidenciando un problema serio respecto a estos.

Respecto al curso aguas arriba del río Coscore, se observa que el punto de monitoreo P-12 presenta una calidad BUENA a comparación del punto de monitoreo CH-3, que presenta una calidad REGULAR. En la evaluación por temporadas, se observa que ambos puntos presentan una calidad EXCELENTE en temporada seca, evidenciando sus problemas en las temporadas húmedas. La excedencia más crítica del punto se da en la temporada 2011, debido a la excedencia de Manganeso en febrero y al bajo pH en abril.

En ambos casos se observa una tendencia mejor calidad de agua en temporada seca con respecto a la temporada húmeda. Incluso en el punto de monitoreo más crítico (CAP-2), se demuestra una leve mejor calidad de la temporada húmeda respecto a la temporada seca.

❖ Zona de Confluencia

En segundo lugar, se evalúa la calidad del agua superficial en 3 puntos directamente relacionados al punto de confluencia del río Coscore y el río Huacanane. Esta evaluación está dada desde la temporada 2018 a la 2019 y se realiza con el fin de mostrar la calidad del agua en los puntos más próximos al punto de confluencia de ambos ríos. A continuación, se muestra una tabla resumen de los resultados obtenidos, la cual se ha clasificado la calidad considerando datos globales, temperatura seca (de abril a noviembre), temperatura húmeda (de diciembre a marzo) y por último una evaluación anual, con el fin de mostrar la evolución de la calidad de agua año a año.

Tabla 12. Evaluación ICA-PE global.

ID	Ubicación del punto	ICA-PE Global
COS-2	Río Coscore	79 Buena
CAP-3	Río Huacanane	41 Malo
TUM-3	Río Tumilaca	81 Buena

FUENTE: Elaboración Propia

Tabla 13. Evaluación ICA-PE por temporadas y anual durante el período 2011-2015

ID	Ubicación del punto de monitoreo	ICA-PE			
		Temporada Húmeda	Temporada Seca	2018	2019
COS-2	Río Coscore	79 Bueno	98 Excelente	96 Excelente	80 Bueno
CAP-3	Río Huacanane	47 Regular	42 Malo	43 Malo	42 Malo
TUM-3	Río Tumilaca	80 Bueno	100 Excelente	87 Bueno	90 Bueno

FUENTE: Elaboración Propia

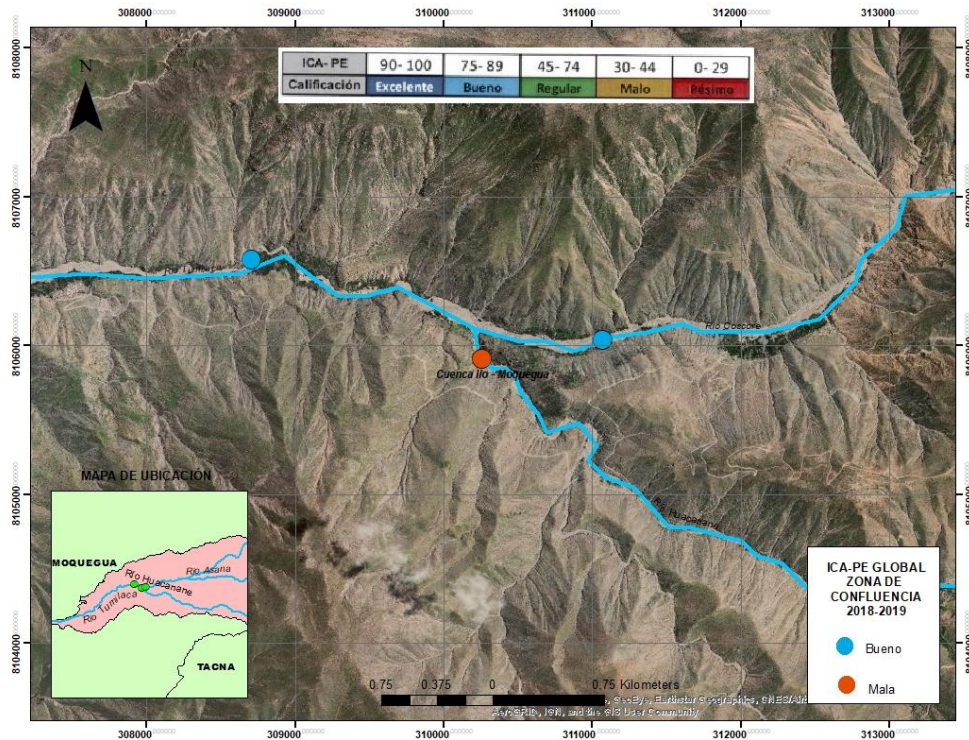


Figura 34. Evaluación ICA-PE global. FUENTE: Propia

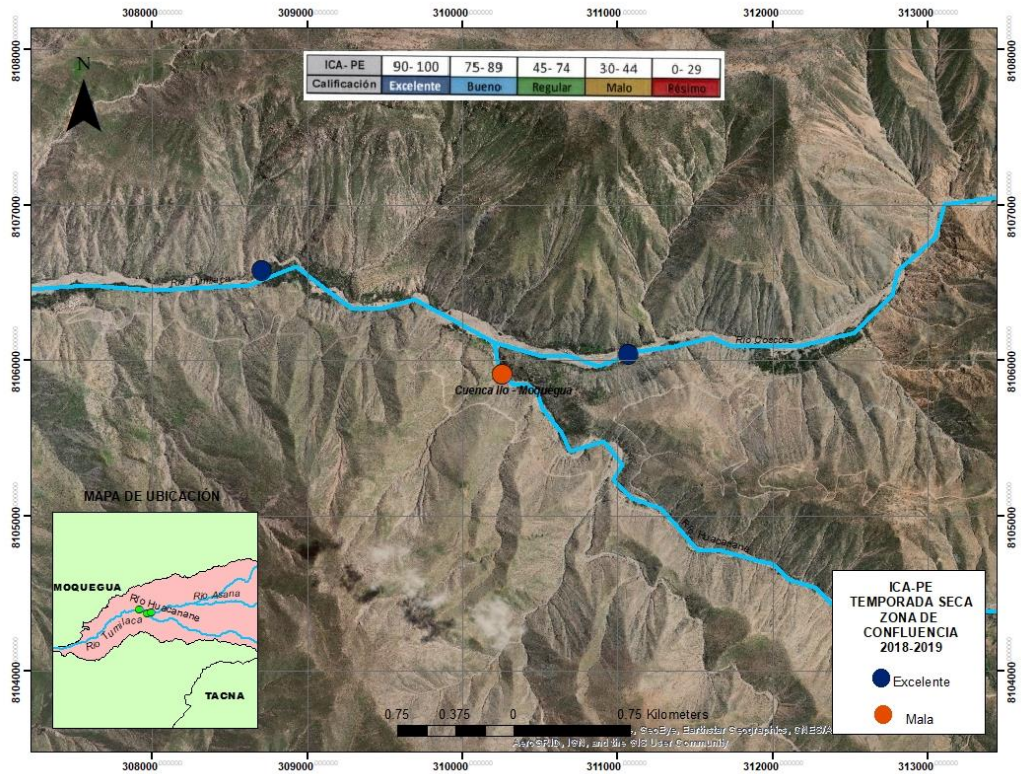


Figura 35. Evaluación ICA-PE temporada seca. FUENTE: Propia.

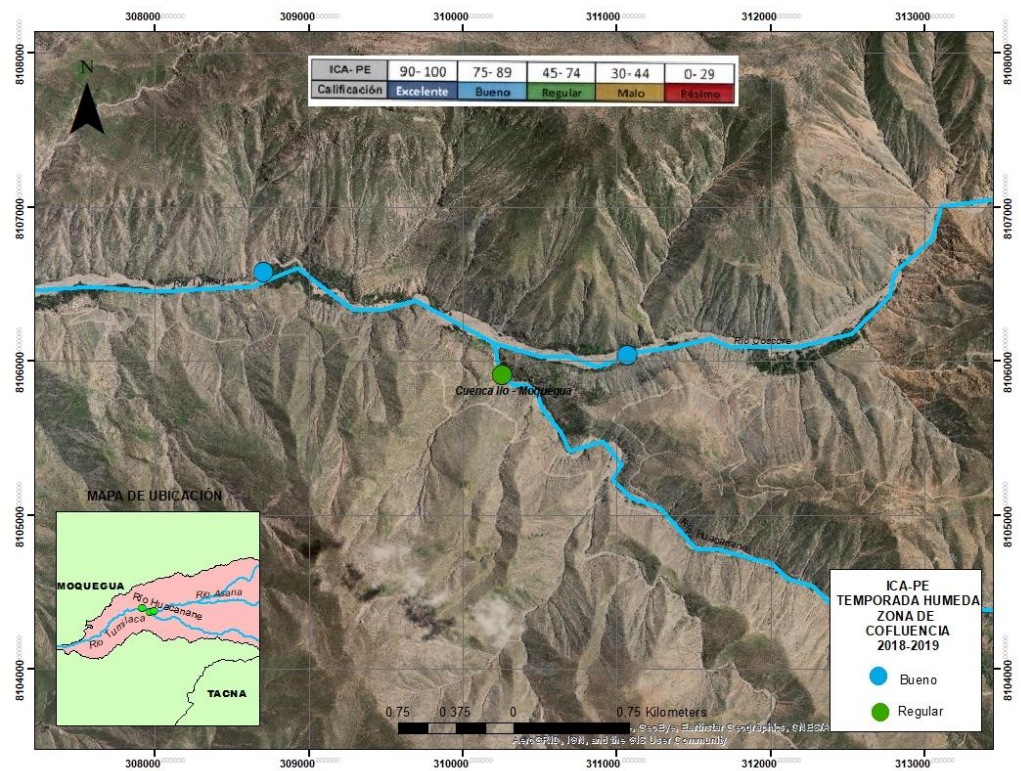


Figura 36. Evaluación ICA-PE temporada húmeda. FUENTE: Propia.

Respecto a esta sección, se observa que calidad del río Huacanane es MALA y la calidad del río Coscore es BUENA antes de la confluencia. Luego de está, el río Tumulaca presenta una calidad BUENA, presentando un ICA-PE incluso de mayor calidad que antes de la confluencia. Esto se debe a 2 factores importantes: el primero es la diferencia de caudales. El río Coscore presenta un caudal anual promedio de más de 2700 L/s (2018) frente a un caudal de 197 L/s del río Huacanane para la misma temporada. Esta diferencia permite que las concentraciones se diluyan y no se muestren críticas. El segundo factor a considerar la calidad del río Coscore. Sumado a su gran caudal, el río Coscore presenta una calidad bastante aceptable, solo pocos parámetros ligeramente y mostrando niveles muy bajos de los demás parámetros. Esto genera que al añadirse las concentraciones de los parámetros excedentes del río Huacanane, se atenúen y no se muestren en el análisis. Además, al igual que el punto anterior, se observa una mejor calidad en temporada seca respecto a la temporada húmeda.

Finalmente, según los indicadores de calidad de agua superficial ICA-PE, la calidad del río Huacanane no influye sobre el río Coscore, lo cual se evidencia a través de la buena calidad del río Tumulaca. Esto es esperable debido la diferencia de caudales entre el río confluyente y el receptor, el cual diluye las concentraciones.

B. Índice de Metales IPA y IM

❖ Aguas Arriba de COS-2 y CAP-3

En primer lugar, tal como el punto anterior, se evaluó la calidad del agua superficial respecto a los metales en 4 puntos aguas arriba del punto de confluencia de los ríos estudiados. De la misma manera, se consideraron las temporadas 2011 a la 2015 y se realiza con el fin de mostrar la evolución de calidad del agua en estos años. A continuación, se muestra una tabla resumen de los resultados obtenidos, la cual se ha clasificado la calidad en base a 2 índices de metales: Índice de Polución de Agua (IPA) e Índice de Metales (IM), considerando datos globales, temperatura seca (de abril a noviembre) y temperatura húmeda (de diciembre a marzo).

Tabla 14. Índice de Metales IPA global.

ID	METALES	Aluminio(Al)	Arsénico(As)	Bario (Ba)	Berilio (Be)	Boro (B)	Cadmio(Cd)	Cobalto(Co)	Cobre (Cu)	Cromo (Cr)	Hierro (Fe)	Litio (Li)	Manganeso (Mn)	Mercurio (Hg)	Níquel (Ni)	Plomo (Pb)	Selenio (Se)	Zinc (Zn)
		CAP-1	IPA	4.26	0.23	0.70	0.00	0.04	0.00	0.24	0.80	0.07	3.73	0.01	9.90	0.06	0.03	0.75
F.A	N.A			N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	F.A	N.A	S.A	N.A	N.A	N.A	N.A
CAP-2	IPA	1.35	0.67	0.13	0.00	5.92	0.02	0.07	0.49	0.02	1.64	0.49	1.47	0.06	0.03	0.42	4.90	0.07
		L.A	N.A	N.A	N.A	S.A	N.A	N.A	N.A	N.A	L.A	L.A	L.A	N.A	N.A	N.A	F.A	N.A
CH-3	IPA	1.25	0.02	0.12	0.00	0.05	0.00	0.02	0.16	0.01	0.73	0.00	1.03	0.25	0.01	0.07	0.00	0.10
		L.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	L.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
P-12	IPA	0.56	0.05	0.05	0.00	0.15	0.00	0.04	0.37	0.02	0.42	0.00	0.61	0.06	0.09	0.37	0.11	0.07
		N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A

FUENTE: Elaboración Propia

Tabla 15. Índice de Metales IPA temporada seca.

ID	METALES	Aluminio(Al)	Arsénico(As)	Bario (Ba)	Berilio (Be)	Boro (B)	Cadmio(Cd)	Cobalto(Co)	Cobre (Cu)	Cromo (Cr)	Hierro (Fe)	Litio (Li)	Manganeso (Mn)	Mercurio (Hg)	Níquel (Ni)	Plomo (Pb)	Selenio (Se)	Zinc (Zn)
		CAP-1	IPA	0.19	0.02	0.06	0.00	0.04	0.00	0.00	0.03	0.01	0.13	0.00	0.29	0.06	0.01	0.04
N.A	N.A			N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
CAP-2	IPA	0.22	0.19	0.12	0.00	5.13	0.02	0.01	0.49	0.02	0.17	0.49	1.47	0.06	0.02	0.08	1.23	0.05
		N.A	N.A	N.A	N.A	S.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	L.A	L.A	N.A	N.A	N.A	L.A	N.A
CH-3	IPA	0.60	0.02	0.07	0.00	0.04	0.00	0.02	0.06	0.01	0.38	0.00	0.57	0.25	0.01	0.07	0.00	0.06
		N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
P-12	IPA	0.38	0.02	0.05	0.00	0.15	0.00	0.02	0.32	0.02	0.24	0.00	0.41	0.06	0.09	0.37	0.05	0.07
		N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A

FUENTE: Elaboración Propia

Tabla 16. . Índice de Metales IPA temporada húmeda.

ID	METALES	Aluminio(Al)	Arsénico(As)	Bario (Ba)	Berilio (Be)	Boro (B)	Cadmio(Cd)	Cobalto(Co)	Cobre (Cu)	Cromo (Cr)	Hierro (Fe)	Litio (Li)	Manganeso (Mn)	Mercurio (Hg)	Níquel (Ni)	Plomo (Pb)	Selenio (Se)	Zinc (Zn)
			4.26	0.23	0.70	0.00	0.04	0.00	0.24	0.80	0.07	3.73	0.01	9.90	0.06	0.03	0.75	0.00
CAP-1	IPA	F.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	F.A	N.A	S.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
		1.35	0.67	0.13	0.00	5.92	0.00	0.07	0.17	0.01	1.64	0.30	1.47	0.06	0.03	0.42	4.90	0.07
CAP-2	IPA	L.A	N.A	N.A	N.A	S.A	N.A	N.A	N.A	N.A	L.A	L.A	L.A	N.A	N.A	N.A	F.A	N.A
		1.25	0.01	0.12	0.00	0.05	0.00	0.02	0.16	0.01	0.73	0.00	1.03	0.06	0.01	0.07	0.00	0.10
CH-3	IPA	L.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	L.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
		0.57	0.05	0.05	0.00	0.04	0.00	0.04	0.37	0.02	0.42	0.00	0.62	0.06	0.09	0.06	0.11	0.01
P-12	IPA	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A

FUENTE: Elaboración Propia

Los cuadros muestran el índice de metales IPA para los datos globales, temporada seca y temporada húmeda en los 4 puntos de monitoreo tomados como referencia en el presente análisis. Respecto al curso aguas arriba del río Huacanane y tomando como referencia el período de evaluación desde 2011 al 2015, se observa que tanto el punto de monitoreo CAP-1 como en el CAP-2, se obtiene como resultados condiciones de fuerte y serio afectación respecto a parámetros como Aluminio, Boro, Hierro y Manganeso. El mayor índice se obtiene para manganeso (9.9) y lo que genera una condición de seriamente afectado. Esto, por el dato reportado para el monitoreo de enero 2013, en el que se recoge 3.9 mg/L de este parámetro (ECA: 0.02 mg/L). Realizando el análisis entre temporadas seca y húmeda, se observa que los índices obtenidos de la temporada húmeda muestran niveles más críticos respecto a la temporada seca. Más aún, se obtiene las mismas calificaciones entre la temporada húmeda y global, mientras que la temporada seca muestra mejores condiciones. Por ende, se infiere que, respecto a los parámetros metálicos, en la temporada húmeda se muestran los mayores niveles de metales respecto a la temporada seca.

Respecto al curso aguas arriba del río Coscore y también tomando como referencia el período de evaluación desde 2011 al 2015, se observa que tanto el punto de monitoreo CH-3 como en el P-12, se obtiene como resultados condiciones en su mayoría de no afectación y leve afectación. Solo en punto de monitoreo CH-3 se observa una leve afectación mientras que

en el punto P-12 no se observa afectación por metales. Además, realizando la comparación entre temporadas seca y húmeda, se continua con la tendencia de mejor calificación de la temporada seca respecto a la temporada húmeda, aunque esta diferencia es muy leve y se podría inferir que se ambos cursos de agua presentan una buena calidad respecto a este parámetro.

Tabla 17. Índice de Metales IM global

ID	METALES	Aluminio(Al)	Arsénico(As)	Bario (Ba)	Berilio (Be)	Boro (B)	Cadmio(Cd)	Cobalto(Co)	Cobre (Cu)	Cromo (Cr)	Hierro (Fe)	Litio (Li)	Manganeso (Mn)	Mercurio (Hg)	Níquel (Ni)	Plomo (Pb)	Selenio (Se)	Zinc (Zn)
CAP-1	IM	11.77	0.98	3.89	0.02	2.45	0.17	0.54	1.99	0.32	9.62	0.03	25.09	4.70	0.16	2.83	0.19	0.61
		U.A.		U.A.		U.A.			U.A.		U.A.		U.A.	U.A.		U.A.		
CAP-2	IM	6.61	9.15	8.31	0.03	311.14	0.19	0.22	2.33	0.12	6.43	15.93	23.12	4.75	0.22	2.39	11.59	0.72
		U.A.	U.A.	U.A.		U.A.			U.A.		U.A.	U.A.	U.A.	U.A.		U.A.	U.A.	
CH-3	IM	4.96	0.42	1.79	0.02	1.95	0.17	0.10	1.01	0.11	3.06	0.02	5.07	5.15	0.08	0.48	0.14	0.73
		U.A.		U.A.		U.A.			U.A.		U.A.		U.A.	U.A.				
P-12	IM	16.43	0.55	1.76	0.02	2.27	0.17	0.29	6.77	0.18	5.83	0.03	18.35	5.00	0.39	1.26	0.45	0.50
		U.A.		U.A.		U.A.			U.A.		U.A.		U.A.	U.A.		U.A.		

FUENTE: Elaboración Propia

Tabla 18. Índice de Metales IM temporada seca.

ID	METALES	Aluminio(Al)	Arsénico(As)	Bario (Ba)	Berilio (Be)	Boro (B)	Cadmio(Cd)	Cobalto(Co)	Cobre (Cu)	Cromo (Cr)	Hierro (Fe)	Litio (Li)	Manganeso (Mn)	Mercurio (Hg)	Níquel (Ni)	Plomo (Pb)	Selenio (Se)	Zinc (Zn)
CAP-1	IM	0.06	0.24	1.45	0.01	1.47	0.11	0.03	0.15	0.07	0.17	0.02	1.70	2.90	0.04	0.11	0.14	0.35
				U.A.		U.A.								U.A.	U.A.			
CAP-2	IM	0.20	4.90	5.54	0.02	225.78	0.13	0.03	1.50	0.09	0.52	11.56	8.64	2.95	0.12	0.33	0.93	0.40
				U.A.	U.A.		U.A.		U.A.				U.A.	U.A.	U.A.			
CH-3	IM	0.17	0.28	0.84	0.01	1.17	0.11	0.04	0.38	0.08	0.11	0.01	0.63	3.35	0.05	0.14	0.09	0.39
							U.A.								U.A.			
P-12	IM	8.56	0.30	0.86	0.02	1.56	0.12	0.09	2.80	0.13	1.34	0.02	9.28	3.30	0.12	0.85	0.19	0.41
		U.A.				U.A.			U.A.					U.A.	U.A.			

FUENTE: Elaboración Propia

Tabla 19. Índice de Metales IM temporada húmeda.

ID	METALES	Aluminio(Al)	Arsénico(As)	Bario (Ba)	Berilio (Be)	Boro (B)	Cadmio(Cd)	Cobalto(Co)	Cobre (Cu)	Cromo (Cr)	Hierro (Fe)	Litio (Li)	Manganeso (Mn)	Mercurio (Hg)	Níquel (Ni)	Plomo (Pb)	Selenio (Se)	Zinc (Zn)
CAP-1	IM	11.71	0.74	2.44	0.01	0.298	0.06	0.51	1.83	0.25	9.45	0.02	23.39	1.80	0.12	2.72	0.05	0.27
		U.A.		U.A.					U.A.		U.A.			U.A.	U.A.		U.A.	
CAP-2	IM	6.41	4.25	2.77	0.01	85.36	0.06	0.20	0.83	0.03	5.91	4.36	14.47	1.80	0.11	2.06	10.66	0.31
				U.A.	U.A.	U.A.		U.A.				U.A.	U.A.	U.A.	U.A.		U.A.	U.A.
CH-3	IM	4.78	0.14	0.94	0.01	0.78	0.06	0.05	0.63	0.03	2.95	0.01	4.43	1.80	0.03	0.34	0.05	0.34
		U.A.										U.A.		U.A.	U.A.			
P-12	IM	7.87	0.25	0.90	0.01	0.72	0.06	0.20	3.98	0.05	4.49	0.01	9.07	1.70	0.27	0.41	0.27	0.09
		U.A.							U.A.		U.A.			U.A.	U.A.			

FUENTE: Elaboración Propia

Por otro lado, respecto al índice de metales IM, se observa que en todos los parámetros metálicos y en general, en todas las estaciones, se tiende a superar el umbral de advertencia. Esto se debe a la naturaleza acumulativa de este índice. Como bien se ha detallado en la revisión bibliográfica y la metodología, gran parte de los monitoreos se encontraron bajo el

límite de detección y para la presente investigación, se consideró el valor de estos (límite de detección) como el valor monitoreado. Adicional a ello, la acumulación de datos en 5 años de monitoreo permiten obtener una gran cantidad de sumandos por lo que se supera fácilmente este umbral. A pesar de ellos, se sigue obteniendo una ligera tendencia para la mayor presencia de metales en las estaciones correspondientes a aguas arriba del río Huacanane respecto a las estaciones ubicadas aguas arriba del río Coscore, sin embargo, esta diferencia es menor respecto a las comparaciones del índice anterior. Por otro lado, no se aprecia una diferencia marcada entre calificaciones por debajo y encima del umbral de advertencia tomando como criterio de comparación las estaciones húmedas y secas.

❖ Zona de Confluencia

En segundo lugar, se evalúa el índice de metales en 3 puntos directamente relacionados al punto de confluencia del río Coscore y el río Huacanane. Esta evaluación está dada desde la temporada 2018 a la 2019 y se realiza con el fin de mostrar la calidad del agua superficial respecto a metales en los puntos más próximos al punto de confluencia de ambos ríos. Los puntos considerados para esta etapa son: CAP-3 (río Huacanane), COS-2 (río Coscara) y TUM-3 (río Tumulaca). A continuación, se muestra una tabla resumen de los resultados obtenidos, la cual se ha clasificado la calidad en base a 2 índices de metales: Índice de Polución de Agua (IPA) e Índice de Metales, considerando datos globales, temperatura seca (de abril a noviembre) y temperatura húmeda (de diciembre a marzo).

Tabla 20. Índice de Metales IPA global.

ID	METALES	Aluminio(Al)	Arsénico(As)	Bario (Ba)	Berilio (Be)	Boro (B)	Cadmio(Cd)	Cobalto(Co)	Cobre (Cu)	Cromo (Cr)	Hierro (Fe)	Litio (Li)	Manganeso (Mn)	Mercurio (Hg)	Níquel (Ni)	Plomo (Pb)	Selenio (Se)	Zinc (Zn)
		COS-2	IPA	0.51	0.01	0.05	0.00	0.04	0.01	0.02	0.20	0.00	0.28	0.00	0.51	0.03	0.01	0.05
	N.A.		N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
CAP-3	IPA	1.59	0.14	0.14	0.00	3.52	0.01	0.05	0.10	0.01	1.02	0.15	1.45	0.03	0.01	0.20	0.11	0.01
		L.A.	N.A.	N.A.	N.A.	F.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	L.A.	N.A.	L.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
TUM-3	IPA	0.62	0.02	0.07	0.00	0.31	0.01	0.02	0.19	0.01	0.38	0.01	0.54	0.03	0.01	0.06	0.03	0.02
		N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.

FUENTE: Elaboración Propia

Tabla 21. Índice de Metales IPA temporada seca.

ID	METALES	Aluminio(Al)	Arsénico(As)	Bario (Ba)	Berilio (Be)	Boro (B)	Cadmio(Cd)	Cobalto(Co)	Cobre (Cu)	Cromo (Cr)	Hierro (Fe)	Litio (Li)	Manganeso (Mn)	Mercurio (Hg)	Níquel (Ni)	Plomo (Pb)	Selenio (Se)	Zinc (Zn)
		COS-2	IPA	0.21	0.01	0.02	0.00	0.04	0.01	0.01	0.04	0.00	0.05	0.00	0.24	0.03	0.00	0.01
	N.A.		N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
CAP-3	IPA	0.07	0.14	0.11	0.00	3.68	0.01	0.01	0.01	0.01	0.08	0.16	1.07	0.03	0.01	0.01	0.11	0.01
		N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	F.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	L.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
TUM-3	IPA	0.18	0.01	0.02	0.00	0.15	0.01	0.00	0.03	0.00	0.03	0.00	0.24	0.03	0.00	0.01	0.02	0.02
		N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.

FUENTE: Elaboración Propia

Tabla 22. Índice de Metales IPA temporada húmeda.

ID	METALES	Aluminio (Al)	Arsénico (As)	Bario (Ba)	Berilio (Be)	Boro (B)	Cadmio (Cd)	Cobalto (Co)	Cobre (Cu)	Cromo (Cr)	Hierro (Fe)	Litio (Li)	Manganeso (Mn)	Mercurio (Hg)	Níquel (Ni)	Plomo (Pb)	Selenio (Se)	Zinc (Zn)
		COS-2	IPA	0.51	0.01	0.05	0.00	0.02	0.01	0.02	0.20	0.00	0.28	0.00	0.52	0.02	0.01	0.05
		N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
		1.59	0.13	0.14	0.00	1.07	0.00	0.05	0.10	0.01	1.02	0.05	1.45	0.02	0.01	0.20	0.08	0.01
CAP-3	IPA	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
		0.62	0.02	0.07	0.00	0.31	0.01	0.02	0.19	0.01	0.38	0.01	0.56	0.02	0.01	0.06	0.03	0.01
TUM-3	IPA	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.

FUENTE: Elaboración Propia

Respecto a los puntos monitoreo considerados, se observa que la tendencia mayoritaria para ambos cursos de agua es no afectada. Solo se observa el punto de monitoreo ubicado en el río Huacaname fuertemente afectado por las altas concentraciones de Boro y levemente afectado por el Aluminio, Manganeso y Hierro. A pesar de ello, al confluir con el río Coscore, estas concentraciones se diluyen, mostrándose el río Tumilaca en sus nacientes con una calidad no afectada por metales. Esta tendencia se mantiene considerando la temporada seca y temporada húmeda, aunque nuevamente, se observa una calidad más crítica en esta última.

Tabla 23. Índice de Metales IM global

ID	METALES	Aluminio(Al)	Arsénico(As)	Bario (Ba)	Berilio (Be)	Boro (B)	Cadmio(Cd)	Cobalto(Co)	Cobre (Cu)	Cromo (Cr)	Hierro (Fe)	Litio (Li)	Manganeso (Mn)	Mercurio (Hg)	Níquel (Ni)	Plomo (Pb)	Selenio (Se)	Zinc (Zn)
COS-2	IM	6.46	0.27	0.68	0.01	0.83	0.04	0.20	1.36	0.05	1.89	0.02	7.43	0.63	0.10	0.30	0.51	0.20
		U.A.								U.A.		U.A.		U.A.				
CAP-3	IM	5.71	2.67	2.60	0.01	64.91	0.06	0.21	0.65	0.10	3.60	2.78	16.55	0.63	0.08	0.66	0.76	0.16
		U.A.	U.A.	U.A.		U.A.						U.A.	U.A.	U.A.				
TUM-3	IM	7.20	0.42	0.83	0.01	3.27	0.06	0.20	1.36	0.06	3.14	0.12	7.93	0.63	0.09	0.42	0.46	0.18
		U.A.				U.A.			U.A.		U.A.		U.A.					

FUENTE: Elaboración Propia

Tabla 24. Índice de Metales IM seca.

ID	METALES	Aluminio(Al)	Arsénico(As)	Bario (Ba)	Berilio (Be)	Boro (B)	Cadmio(Cd)	Cobalto(Co)	Cobre (Cu)	Cromo (Cr)	Hierro (Fe)	Litio (Li)	Manganeso (Mn)	Mercurio (Hg)	Níquel (Ni)	Plomo (Pb)	Selenio (Se)	Zinc (Zn)
COS-2	IM	3.56	0.16	0.33	0.01	0.62	0.02	0.05	0.42	0.03	0.62	0.01	3.66	0.45	0.04	0.06	0.29	0.15
		U.A.												U.A.				
CAP-3	IM	0.69	1.93	1.92	0.00	57.28	0.05	0.04	0.21	0.05	0.52	2.43	9.88	0.45	0.03	0.07	0.50	0.10
			U.A.	U.A.		U.A.							U.A.	U.A.				
TUM-3	IM	3.96	0.20	0.46	0.00	1.16	0.02	0.18	0.97	0.03	2.55	0.04	4.40	0.18	0.06	0.35	0.17	0.05
		U.A.				U.A.					U.A.		U.A.					

FUENTE: Elaboración Propia

Tabla 25. Índice de Metales IPA temporada húmeda.

ID	METALES	Aluminio(Al)	Arsénico(As)	Bario (Ba)	Berilio (Be)	Boro (B)	Cadmio(Cd)	Cobalto(Co)	Cobre (Cu)	Cromo (Cr)	Hierro (Fe)	Litio (Li)	Manganeso (Mn)	Mercurio (Hg)	Níquel (Ni)	Plomo (Pb)	Selenio (Se)	Zinc (Zn)
COS-2	IM	2.91	0.11	0.36	0.00	0.20	0.02	0.15	0.94	0.02	1.27	0.00	3.77	0.18	0.06	0.24	0.22	0.05
		U.A.									U.A.		U.A.					
CAP-3	IM	5.02	0.74	0.68	0.01	7.64	0.01	0.17	0.44	0.05	3.08	0.35	6.67	0.18	0.04	0.59	0.26	0.06
		U.A.				U.A.					U.A.		U.A.					
TUM-3	IM	3.24	0.22	0.38	0.00	2.11	0.04	0.02	0.39	0.03	0.59	0.07	3.53	0.45	0.04	0.07	0.29	0.12
		U.A.				U.A.							U.A.					

FUENTE: Elaboración Propia

Respecto a este índice de metales (IM), se observa que se supera el umbral de advertencia en los 3 puntos de monitoreo, sin embargo, se da en mayor número de parámetros para el CAP-3. Sin embargo, y a diferencia del anterior índice, se aprecia índices que superan el umbral de advertencia en los puntos de monitoreo COS-2 Y TUM-3 para parámetros no tomados en cuenta en el índice anterior. Ante esto, surge la utilidad real de este índice, el cual nos da indicios de concentraciones cercanas al límite del ECA, que han de ser tomadas en cuenta y que nos son representadas en el índice anterior por no superarlo, pero en este sí debido a su naturaleza acumulativa. A pesar de ello, el curso del río Coscore ya presenta niveles que sobrepasan el umbral de advertencia antes de punto de confluencia con el río Huacananane. Luego de la confluencia, el río Tumilaca ya presenta índices por encima del umbral de advertencia que ya se mostraban, a excepción del Boro. Esto se da debido a que el Boro es un parámetro crítico para el río Huacananane, ya que se supera en casi todos los monitoreos.

Finalmente, en su conjunto y en comparación de ambos índices, se obtiene que el río Huacananane influye levemente sobre el río Coscore y río Tumilaca, específicamente en el parámetro de Boro; aunque no al punto de generar que supere la concentración estándar de calidad ambiental ECA 2017- Agua. Al igual que el punto anterior, esto es esperable debido la diferencia de caudales entre el río confluente y el aceptor, el cual diluye las concentraciones.

4.2 Evaluación Hidroquímica

En este punto se evaluó hidroquímicamente la calidad superficial del agua en los puntos de monitoreo trabajados. En primer término, corresponde la evaluación de la calidad aguas arriba de la zona de confluencia, para la temporada 2011 – 2015. Como se mencionó en el ítem anterior, los puntos P-12 y CH-3 corresponden a la calidad aguas arriba de COS-2 y CAP-1 con CAP-2 corresponden a la calidad aguas arriba de CAP-3. A continuación se muestra los resultados obtenidos en estos 4 puntos:

❖ Aguas Arriba COS-2:

Respecto a los puntos de monitoreo correspondientes, se muestra una tendencia diferenciada para ambos, lo que nos muestra que los factores que determinan las características en ambos cursos (río Asana y río Charaque) son diferentes. Así, obtenemos luego de analizar el rombo central del diagrama de Piper que se presenta una clase de aguas Sulfatadas para P-12 y entre Sulfatadas y Bicarbonatada Cálcica para CH-3. Analizando ambos diagramas, obtenemos que, en cuestión de cationes, se observa proporciones similares en ambos puntos; la diferencia se da en la proporción de aniones. Esto se evidencia en el triángulo inferior derecho en ambos diagramas, en el que para P-12 se muestra que el porcentaje de sulfatos es cercano al 100 por ciento, respecto a los aniones y para los 5 años de monitoreo; sin embargo, para CH-3, la proporción de sulfatos oscila entre 30 y 50 por ciento para los 5 años de monitoreo considerados. Respecto al triángulo de cationes, para ambos puntos de monitoreo, se muestra que la gran mayoría tienen una proporción importante de calcio, pero no absoluta (60 por ciento de predominancia de Ca frente a los demás).

Diagrama de Piper P-12

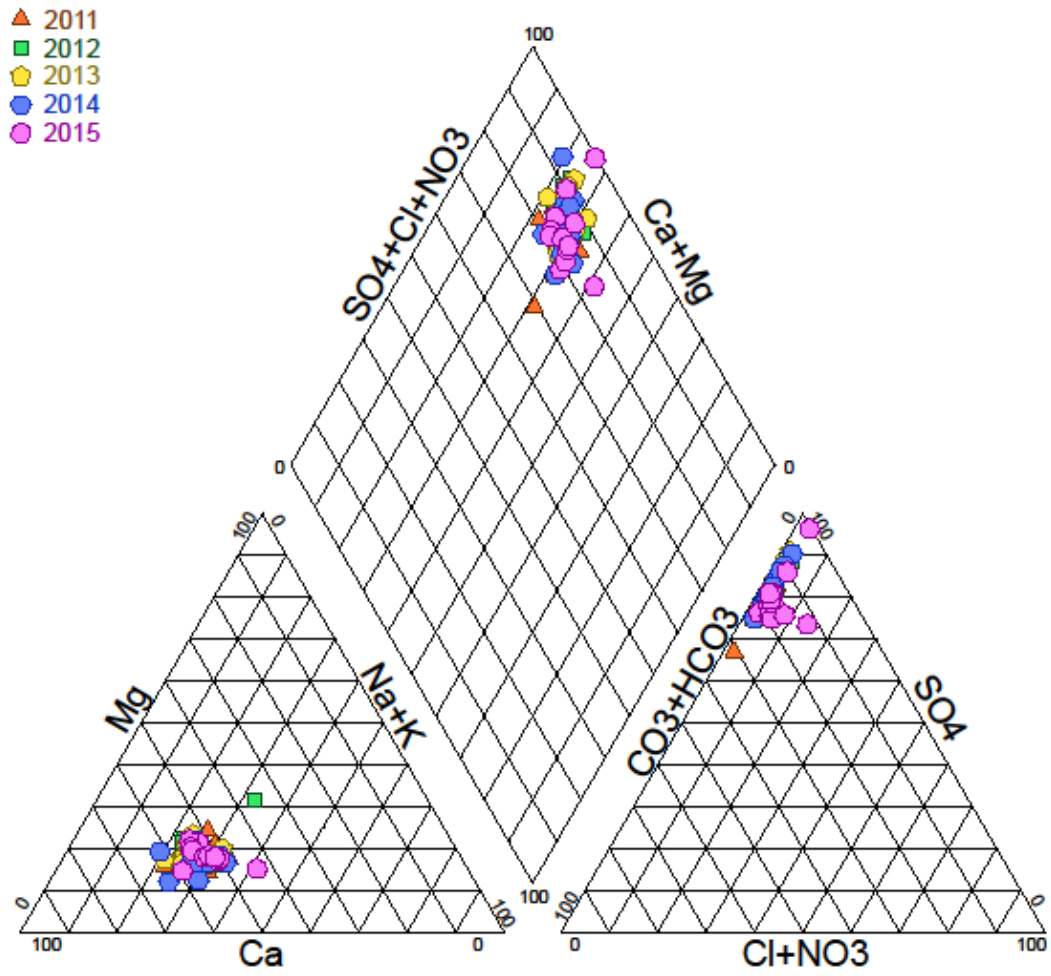


Figura 37. Diagrama de Piper para P-12 durante las temporadas 2011-2015. FUENTE: Propia

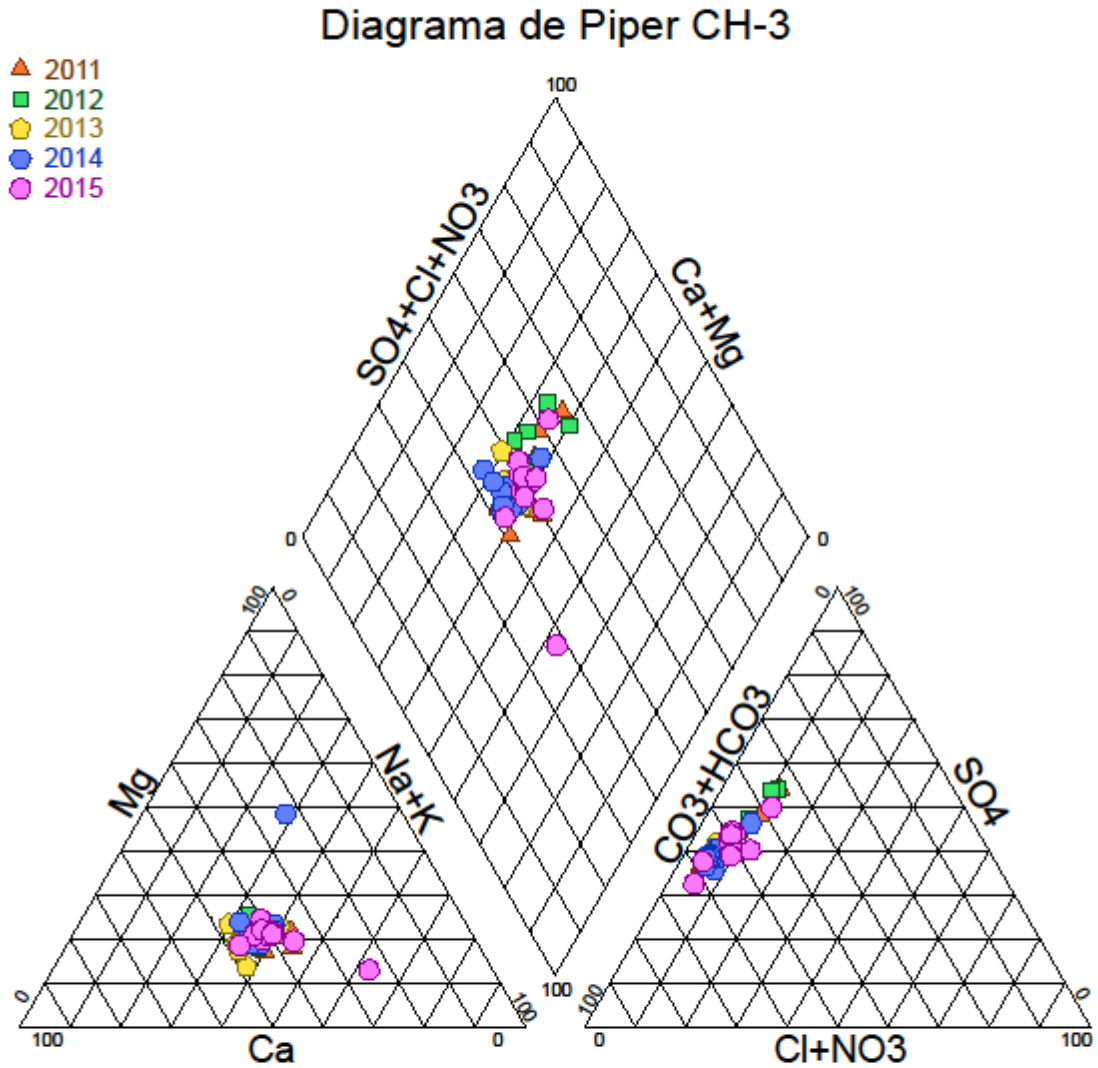


Figura 38. Diagrama de Piper para CH-3 durante las temporadas 2011-2015. FUENTE: Propia

Estas tendencias se pueden profundizar con los diagramas de Schoeller-Berkaloff y de Stiff. A continuación, mostramos ambos diagramas y su interpretación. Respecto al diagrama de Schoeller-Berkaloff, nos muestra una línea que varía de acuerdo a la concentración de los iones estudiados. Este diagrama para ambos puntos de monitoreo muestran una tendencia similar, que se podría explicar por la similitud del material parental para ambos. Sin embargo, P-12 muestra niveles un poco más elevados de miliequivalentes en algunos parámetros, como Calcio y Sulfato, confirmando el análisis anterior. También, acá se evidencia que los niveles de nitratos son bastante bajos e insignificantes para el análisis.

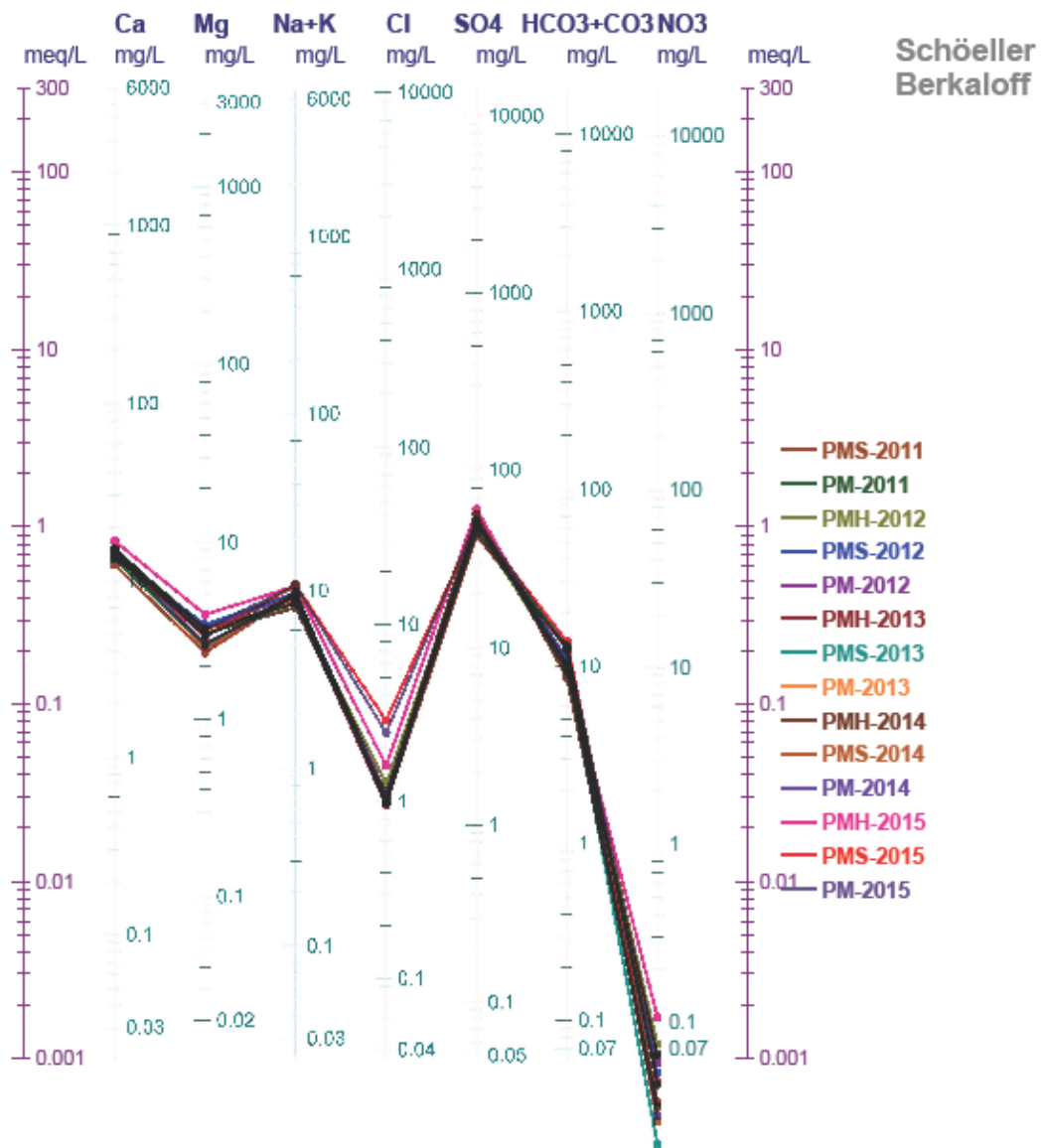


Figura 39. Diagrama de Schoeller-Berkaloff para P-12 durante las temporadas 2011-2015. FUENTE: Propia

CH-3

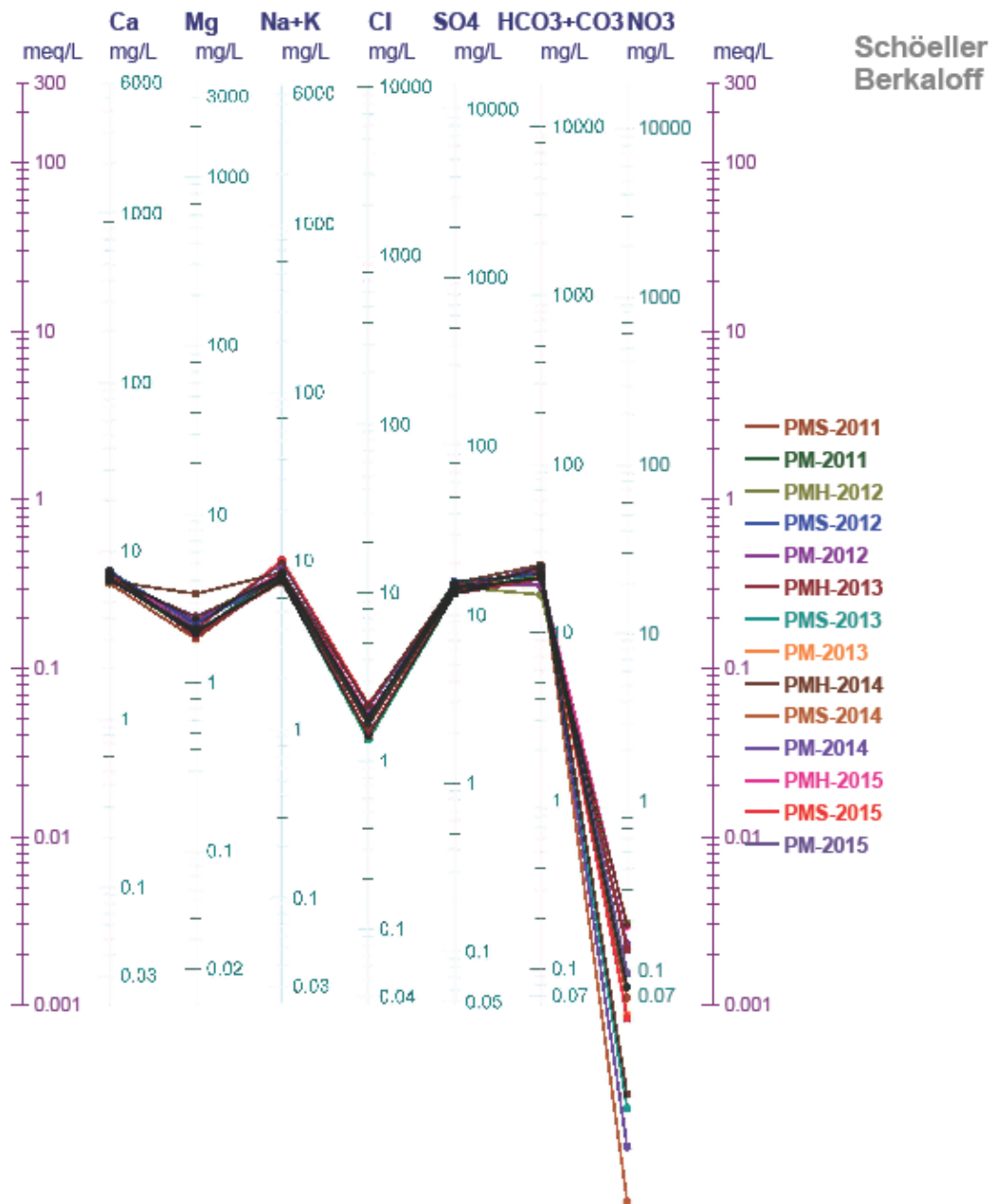


Figura 40. Diagrama de Schoeller-Berkaloff para CH-3 durante las temporadas 2011-2015. FUENTE: Propia

Asimismo, el diagrama de Stiff nos muestra polígonos que difieren principalmente con dos puntas más pronunciadas: las correspondientes a los iones de Calcio y Sulfatos (los nitratos no se consideran mostradas sus concentraciones no significativas en ambos gráficos anteriores), para todos los años de monitoreo y las temporadas en cada uno (húmeda y seca).

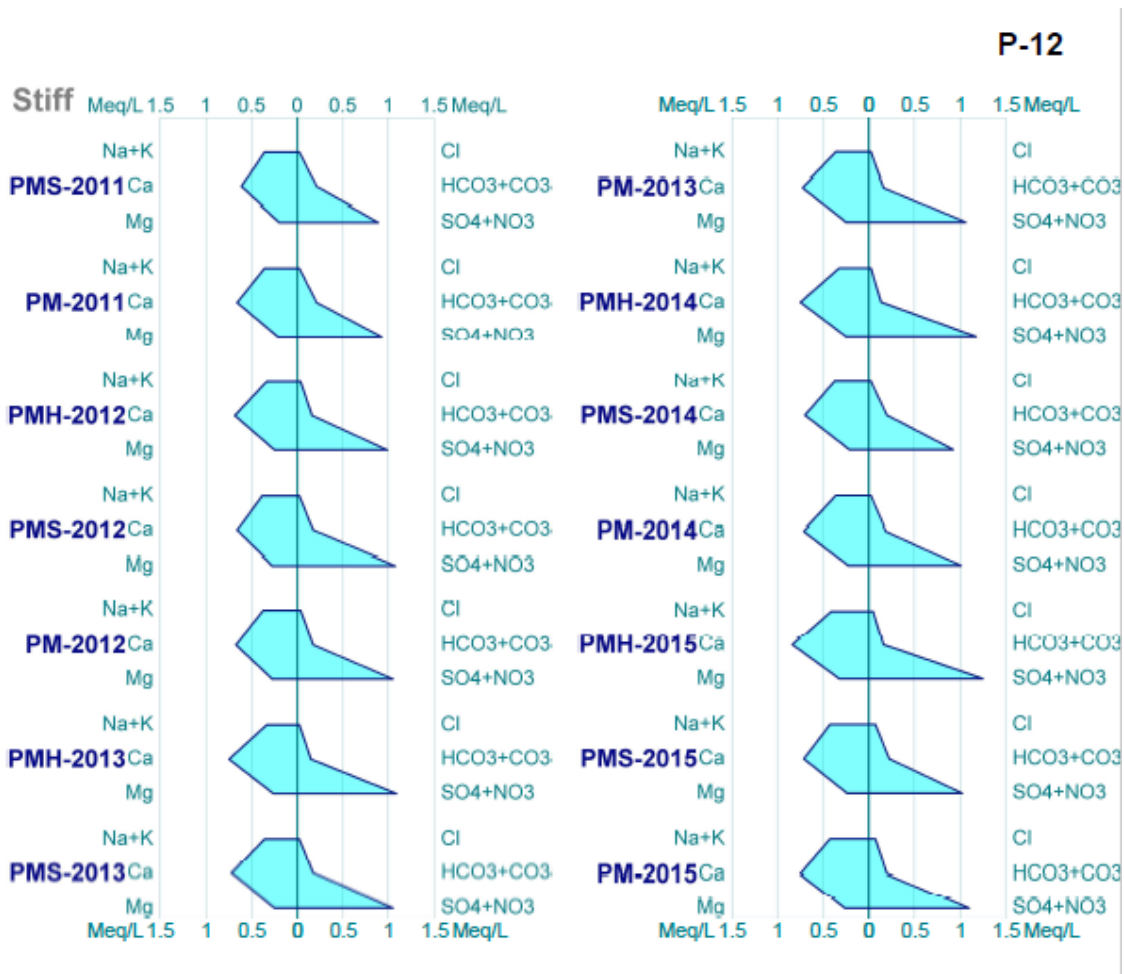


Figura 41. Diagrama de Stiff para P-12 durante las temporadas 2011-2015. FUENTE: Propia

Otra información importante que nos muestra estos diagramas es que la influencia de las temporadas húmeda y seca son ínfimas, para los parámetros que se consideran en el análisis hidroquímico. Podemos observar que las formas de los polígonos se mantienen casi constantes desde el año 2011 al 2015 en todas las temporadas por lo que podemos inferir que la estacionalidad no es un factor de variación hidroquímica significativa en los puntos P-12 y CH-3.

CH-3

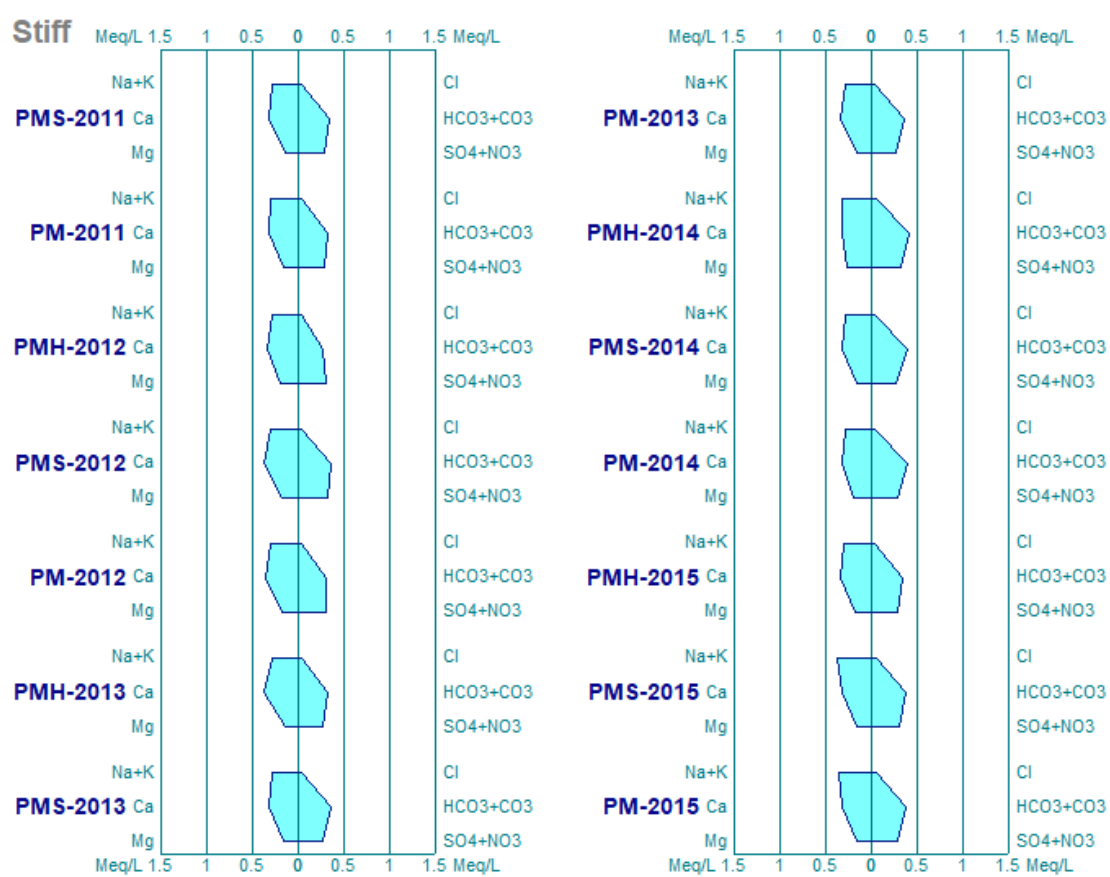


Figura 42. Diagrama de Stiff para CH-3 durante las temporadas 2011-2015- FUENTE: Propia

Finalmente, en este punto se muestra el diagrama de Stabler. Aquí se muestra mediante barras la predominancia de los iones para cada año y la estacionalidad. Para P-12, la predominancia de los sulfatos y calcio se muestra con mayor notoriedad en este gráfico, tanto para la barra de cationes como de aniones, frente a los demás iones mostrados, tal como se venía mostrando en los diagramas anteriores. Respecto a CH-3, la proporción de cationes se muestra una vez más, similar con el Calcio predominando frente a los demás cationes. Por otro lado, con respecto a los aniones, la alcalinidad muestra un mayor protagonismo frente a los sulfatos, los cuales también ocupan una proporción importante de la barra; y el cloro disminuido.

Stabler

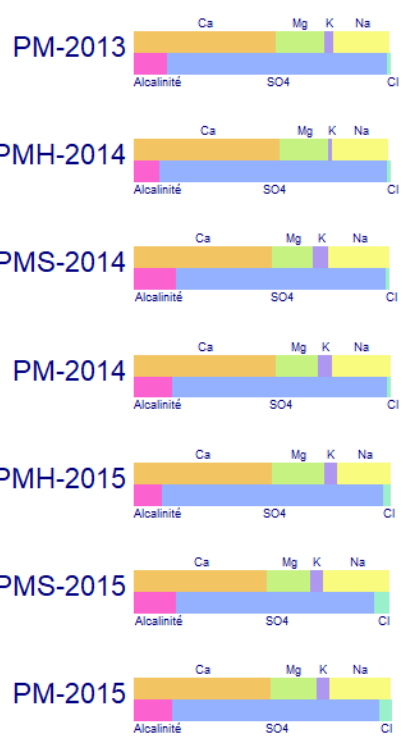
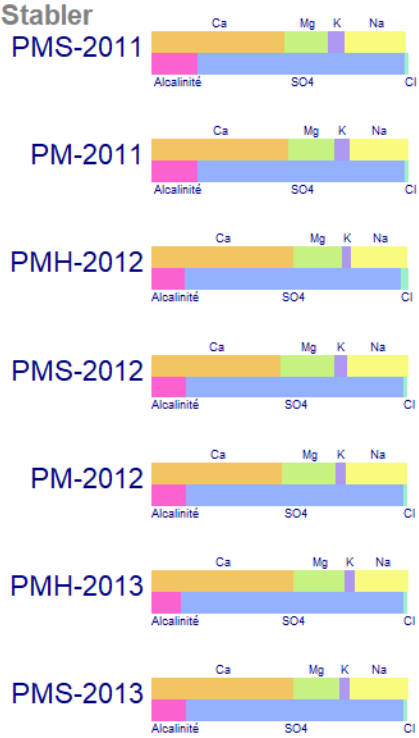


Figura 43. Diagrama de Stabler para P-12 durante las temporadas 2011-2015. FUENTE: Propia.

Stabler

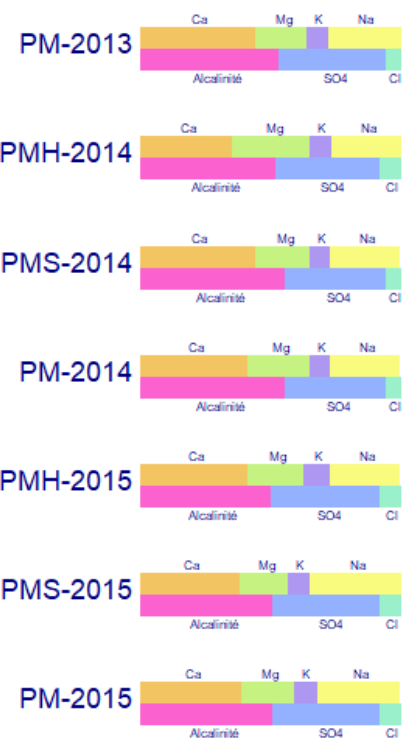
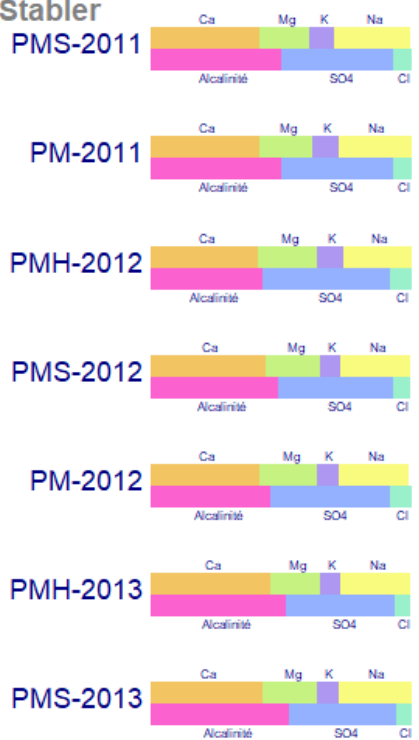


Figura 44. Diagrama de Stabler para CH-3 durante las temporadas 2011-2015. FUENTE: Propia

En síntesis, luego de analizar estos 2 puntos de monitoreo durante las temporadas 2011-2015, podemos realizar las siguientes observaciones e inferencias:

- Para P-12, se obtiene un tipo de agua sulfatada, mostrando también altos niveles de calcio, los cuales quedaron evidenciados por los diagramas realizados. Estos iones son componentes de la disolución de la anhidrita (sulfato y calcio), por lo que podemos inferir que hay una alta mineralización en la zona, y tanto la escorrentía del suelo como la influencia de aguas subterráneas son responsables de obtener estos resultados hidroquímicos.
- Para CH-3, se obtuvo un tipo de agua entre sulfatadas y bicarbonatadas sódicas. En los diagramas hidroquímicos no se observa una predominancia marcada de estos componentes, sino más bien una presencia compartida de calcio, sodio, potasio y bicarbonatos. La geología local mostró que el material parental para este punto se encontraba dentro de la Súper Unidad Yarabamba (KsP-ya-di). Las rocas predominantes en esta son las dioritas y cuarzo, las cuales contienen minerales esenciales como plagioclasas, feldespatos y cuarzo. La mineralización de estos generaría la predominancia de los iones antes mencionados y el mecanismo de incorporación al agua sería de igual manera por medio de la escorrentía del suelo y la influencia de agua subterránea.

❖ Aguas Arriba CAP-3:

Respecto a los puntos de monitoreo correspondientes, la tendencia cambia, para los 5 años de monitoreo, respecto a ambos puntos. Cabe mencionar ambos se encuentran en un solo curso del río Capillune, pero a aproximadamente 13 km, por lo que se infiere que existen factores en este tramo generarían este cambio. Para CAP-1, obtenemos que son aguas entre Sulfatadas y Bicarbonatadas-Cálcicas (al igual que CH-3), mientras que CAP-2 se muestran aguas Cloruradas y Sulfatadas. Ambos monitoreos muestran resultados en 2 regiones del diagrama. Respecto a los triángulos de aniones, los primeros (CAP-1) muestran sus monitoreos en una región más dispersos respecto a los segundos (CAP-2), que se muestran más concentrados. Nuevamente, el triángulo de cationes se muestra similar en ambos puntos y la variación se da en el triángulo de aniones, dadas las variaciones de la presencia de bicarbonatos y cloruros.

Diagrama de Piper CAP-1

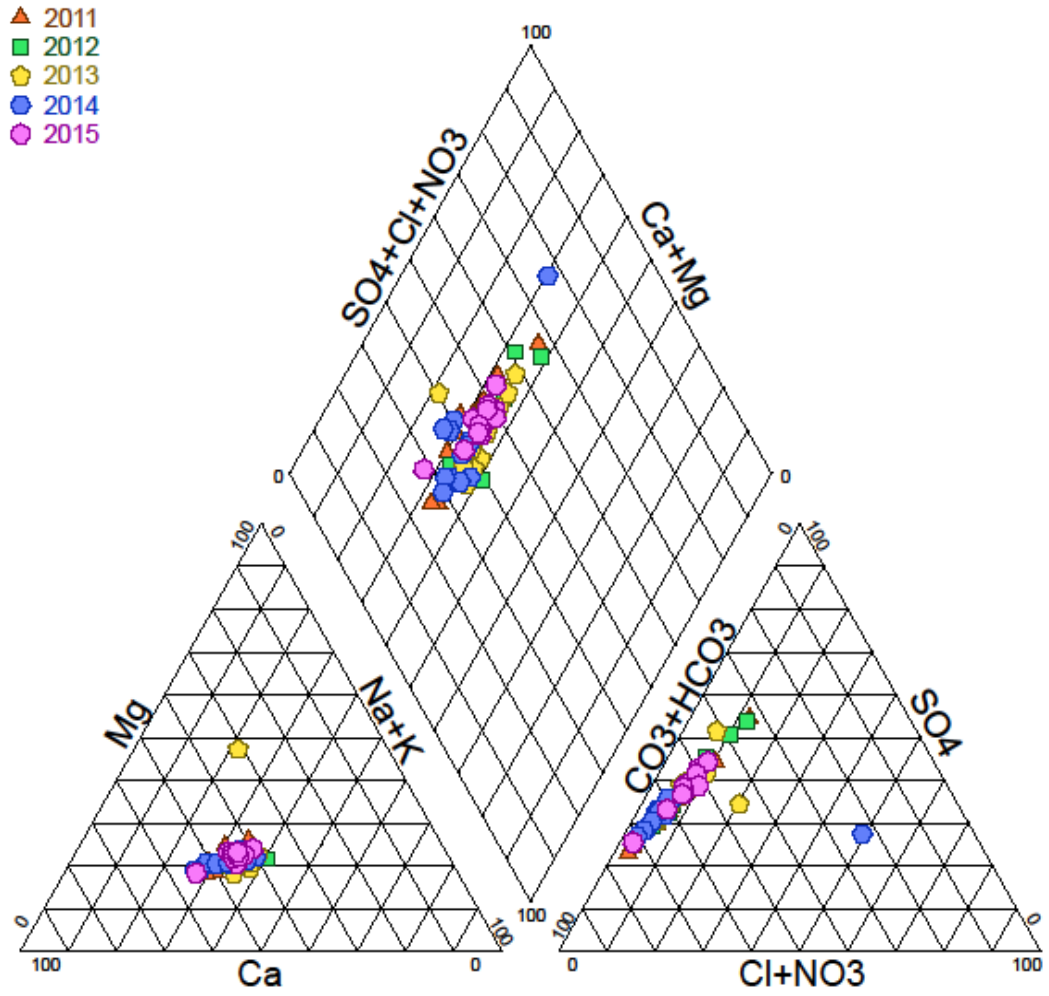


Figura 45. Diagrama de Piper para CAP-1 durante las temporadas 2011-2015. FUENTE: Propia

Diagrama de Piper CAP-2

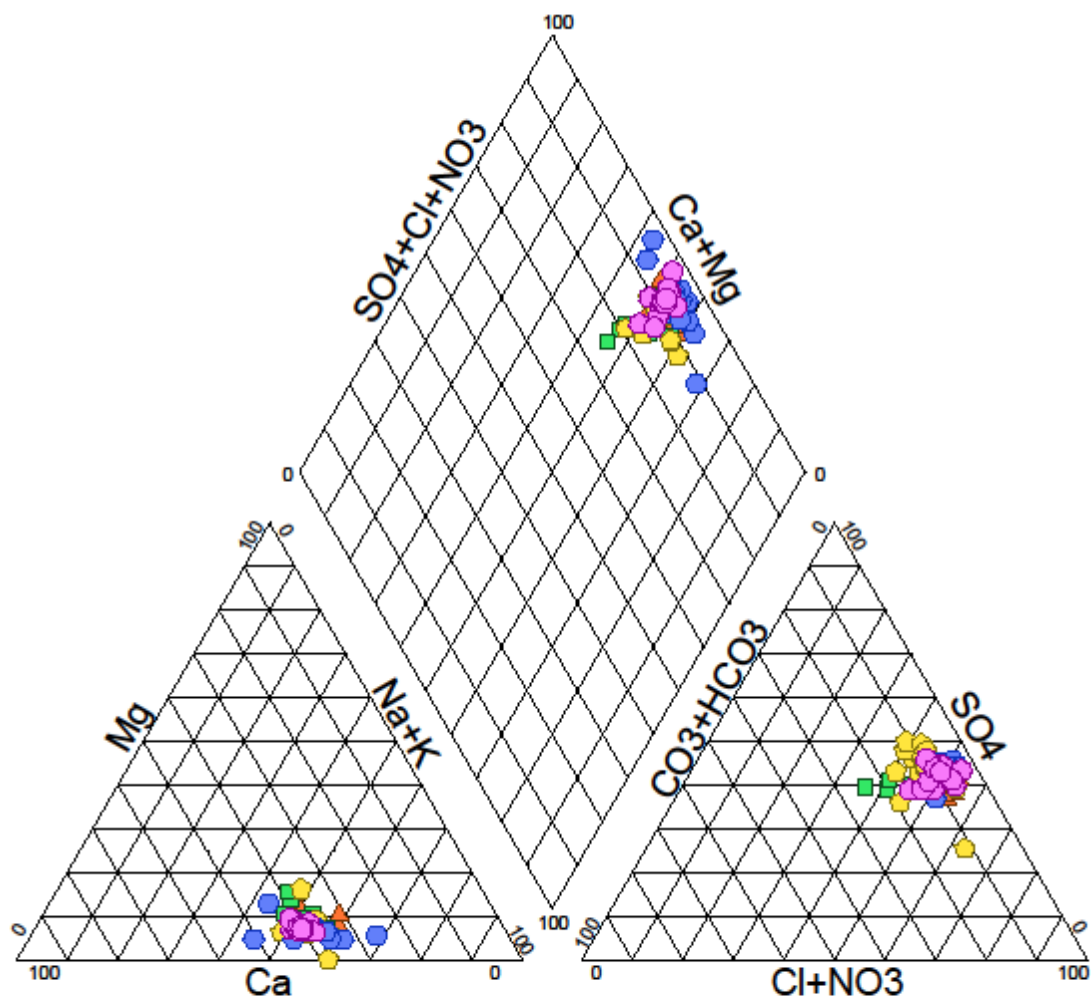


Figura 46. Diagrama de Piper para CAP-2 durante las temporadas 2011-2015. FUENTE: Propia

Por otro lado, el diagrama de Stiff muestra niveles que difieren para cada punto de monitoreo; sin embargo, la tendencia es similar al gráfico anterior para cada uno. Por un lado, CAP-1 muestra un nivel de cloruros bajo y, los carbonatos y bicarbonatos son los que registran mayor presencia. Sin embargo, para CAP-2 la situación es diferente, registrándose niveles similares respecto a miliequivalentes para la mayor parte de cationes y aniones. Para CAP-2 también, cada año y estacionalidad (húmeda o seca), la forma de la línea es similar, sin embargo, los niveles van variando. Finalmente, y al igual que en CH-3 y P-12, los niveles de nitratos se muestran muy por debajo de los demás iones en ambos gráficos.

CAP-1

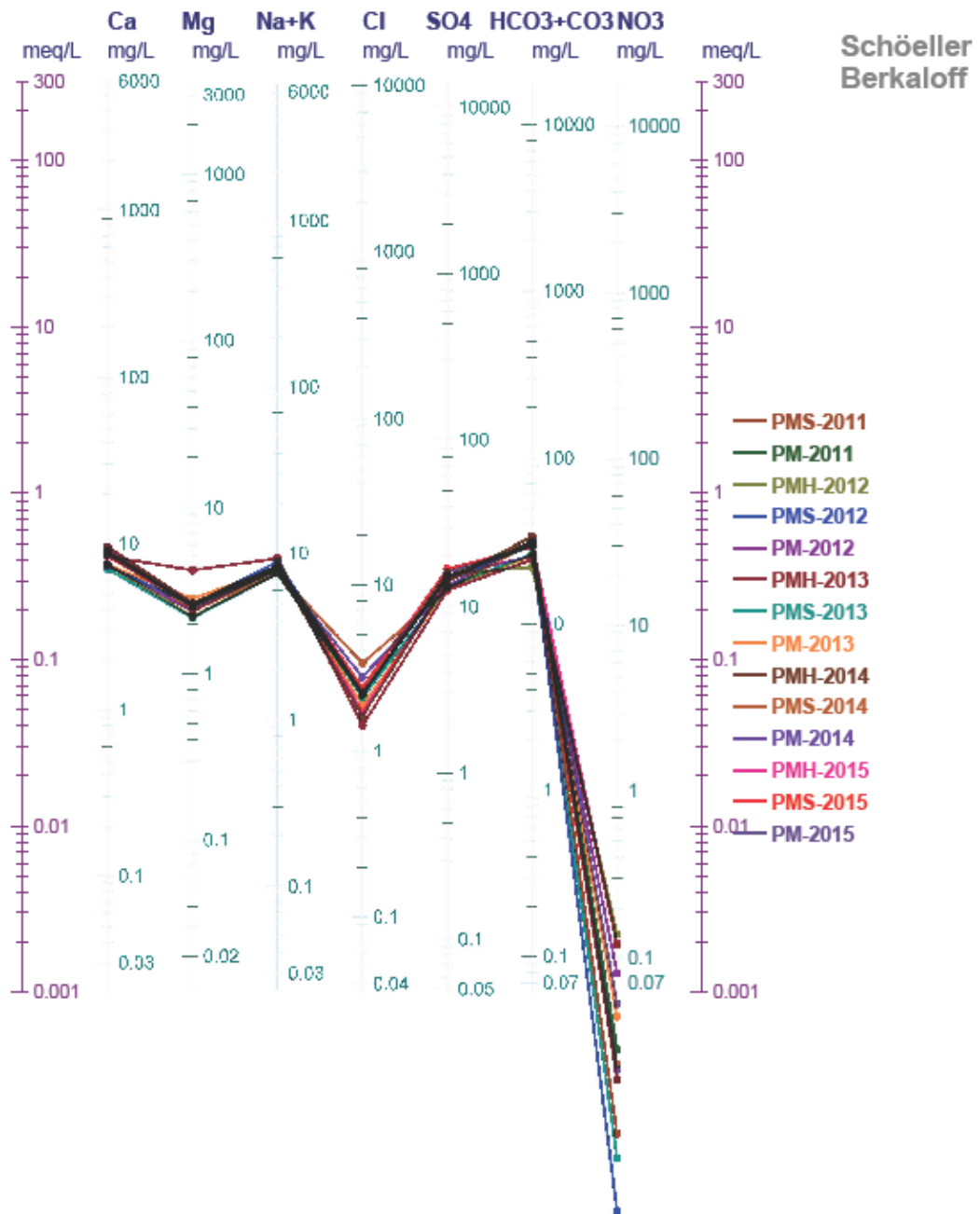


Figura 47. Diagrama de Schoeller-Berkaloff para CAP-1 durante las temporadas 2011-2015. FUENTE: Propia

CAP-2

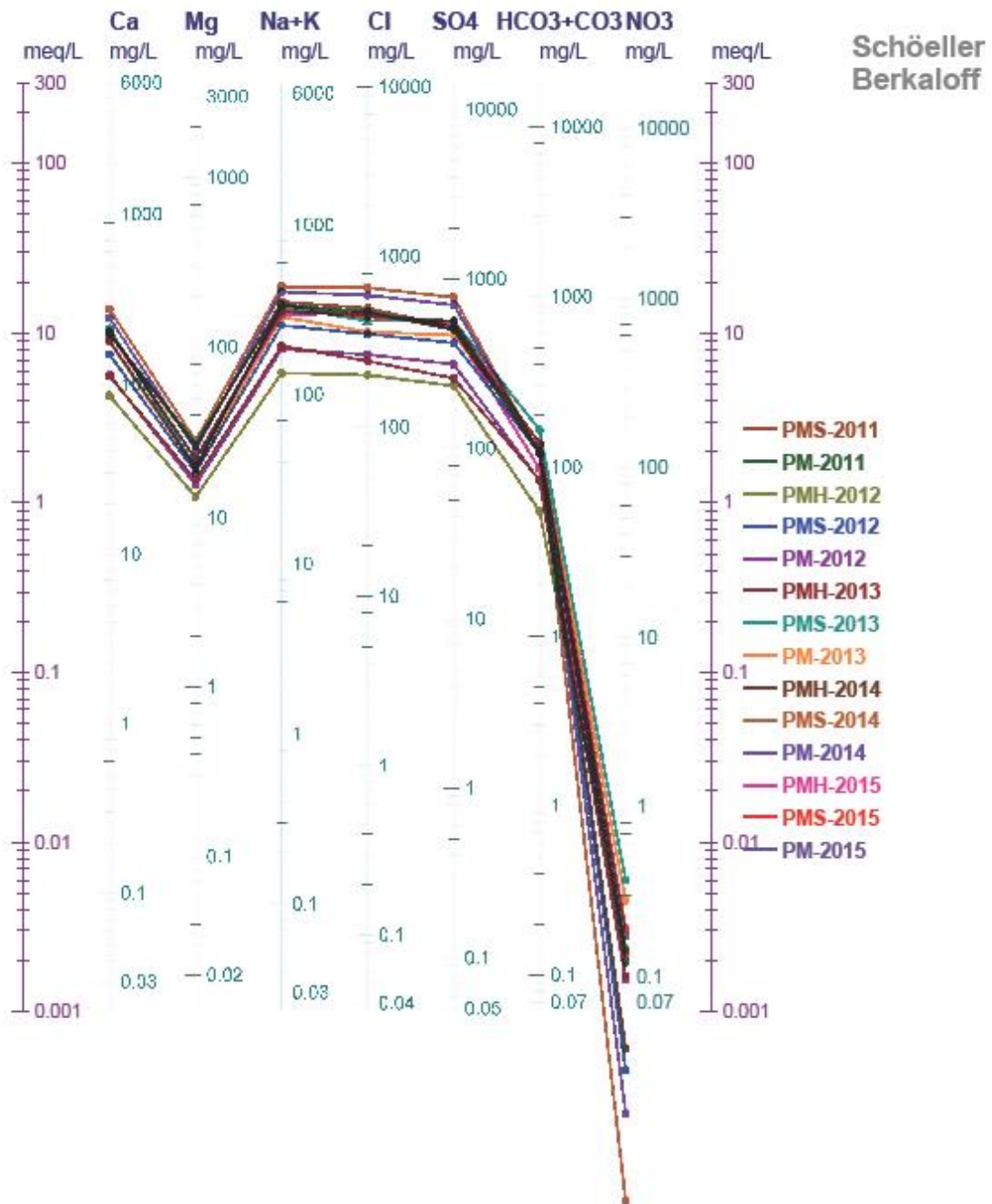


Figura 48. Diagrama de Schoeller-Berkaloff para CAP-2 durante las temporadas 2011-2015. FUENTE: Propia

Al igual que el punto anterior, se evaluó las concentraciones de estos iones en base a los diagramas de Stiff. Como se viene mencionando en los diagramas anteriores, las figuras obtenidas con este diagrama difieren en su forma en ambos puntos. Para CAP-1, las figuras son muy similares entre año y estacionalidad. Sin embargo, para CAP-2 se obtienen figuras un poco más heterogéneas.

CAP-1

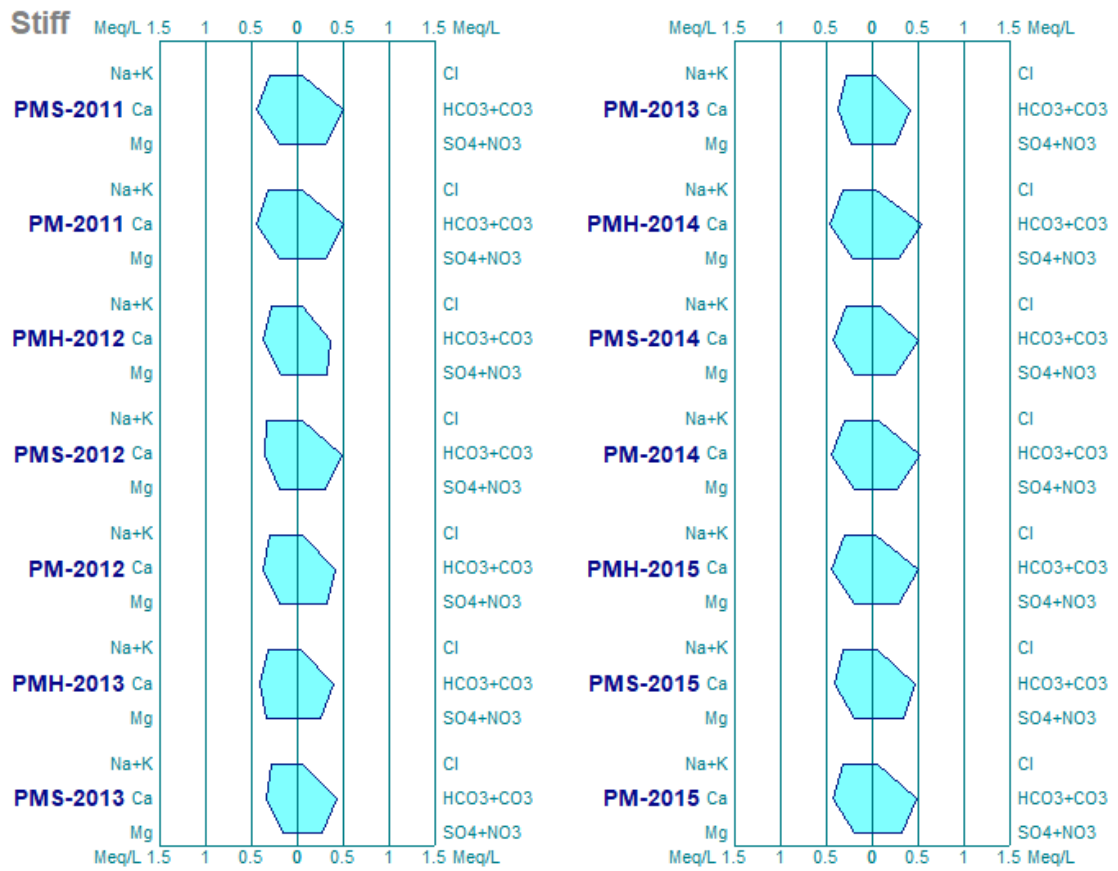


Figura 49. Diagrama de Stiff para CAP-1 durante las temporadas 2011-2015- FUENTE: Propia

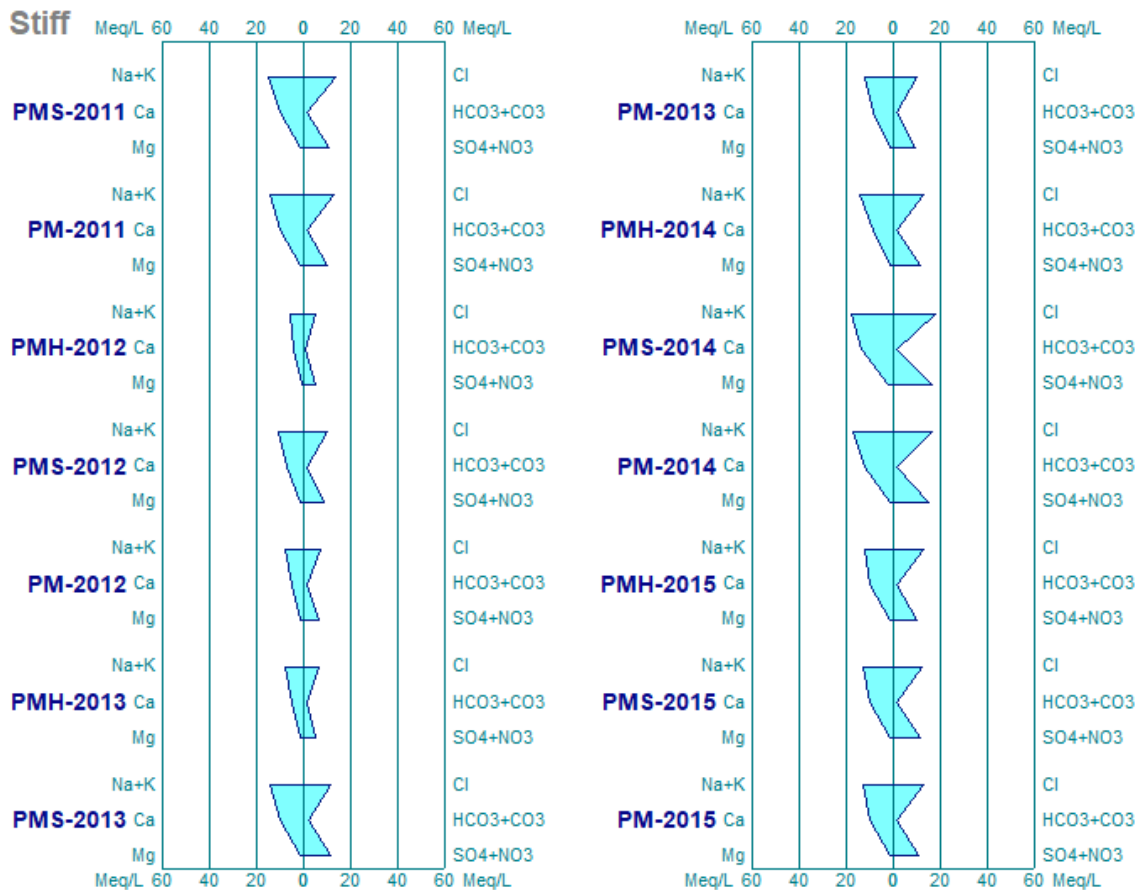


Figura 50. Diagrama de Stiff para CAP-2 durante las temporadas 2011-2015- FUENTE: Propia

Finalmente, los diagramas de Stabler, confirmando la predominancia de bicarbonatos y carbonatos en CAP-1, además de la presencia no menor de sulfatos, todo esto respecto a aniones. Respecto a los cationes, los iones se registran presencias compartidas, aunque el calcio se muestra ligeramente mayor. Por otro lado, para CAP-2, los cationes no muestran una predominancia marcada, aunque en la mayor parte de gráficos se registra una predominancia de sodio y calcio; mientras que para los aniones se muestra disminuida la alcalinidad frente a los sulfatos y cloro, confirmado así su calificación hidroquímica (entre cloruradas y sulfatadas).

CAP-1

Stabler

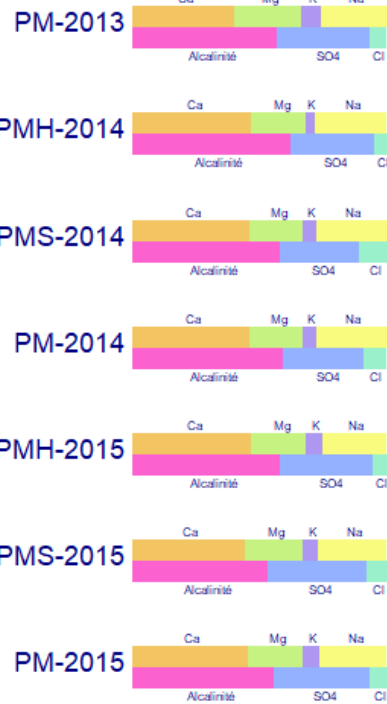
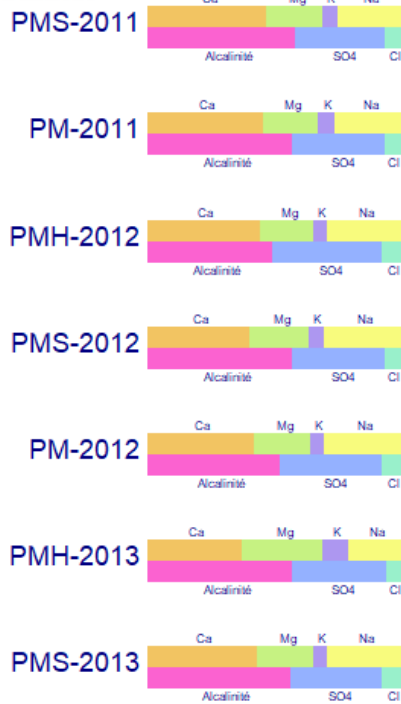


Figura 51. Diagrama de Stabler para CAP-1 durante las temporadas 2011-2015. FUENTE: Propia

CAP-2

Stabler

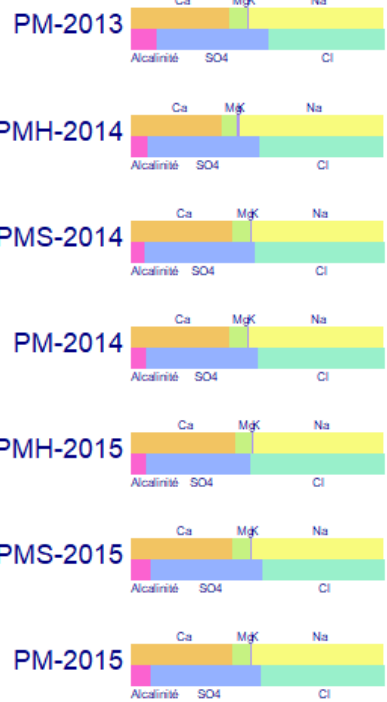
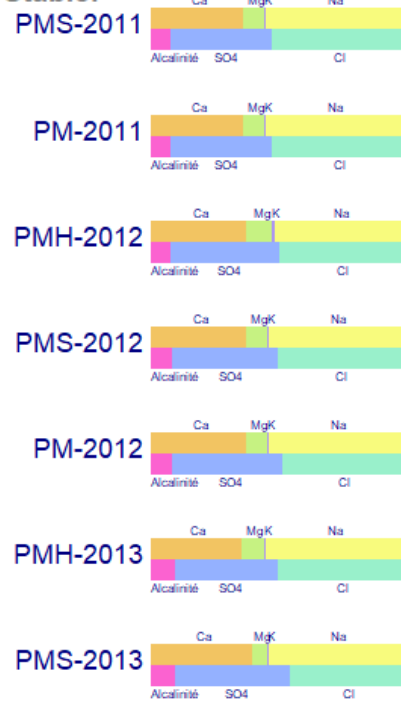


Figura 52. Diagrama de Stabler para CAP-2 durante las temporadas 2011-2015. FUENTE: Propia

En síntesis, y al igual que los puntos anteriores, luego de analizar estos 2 puntos de monitoreo durante las temporadas 2011-2015, podemos realizar las siguientes observaciones e inferencias:

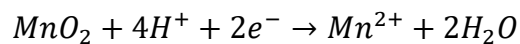
- Para CAP-1 (al igual que CH-3), se obtuvo un tipo de agua entre sulfatadas y bicarbonatadas sódicas. Los diagramas hidroquímicos se muestran muy similares a CH-3, en mayor medida si comparamos los diagramas de Stabler correspondientes a ambos puntos, por lo que podemos inferir que el material parental es muy similar en ambos puntos; Súper Unidad Yarabamba, aunque la denominación varía un poco (KsP-ya-mz). Los cuerpos intrusivos predominantes en este caso son Monzonitas de color gris parda y de grano grueso. Sin embargo, esta roca también está compuesta de minerales esenciales como plagioclasas, feldespatos y cuarzo. Debido a ello, la mineralización de estos generaría también la predominancia de los iones antes mencionados. Cabe mencionar que en este punto se denota ligeramente la tendencia al alto nivel de magnesio para la temporada húmeda de 2013 que se evidencia con mayor nivel en CAP-2, lo que nos sugiere que el factor desencadenante de ello empezó a mostrarse a lo largo de todo el curso del río Capillune y Huacanane.
- Para CAP-2 se obtuvo una caracterización hidroquímica diferente a las anteriores. El tipo de agua está entre sulfatadas y cloruradas, con una presencia de alcalinidad insignificante. Esta vez, la geología local muestra un material parental de la unidad geológica Ríolita Yarito (KsP-ya-ri), de naturaleza volcánica: lavas riolíticas, gris violáceas.

Para explicar esto es preciso citar a Cardona y Hernández (1995), los cuales mencionan que “uno de los mejores indicadores de la evolución química del agua subterránea [...] es el cloruro, por ser el ion menos afectado por procesos de precipitación, adsorción o de óxido-reducción”. Esto nos lleva a inferir que en este punto de monitoreo existen procesos adicionales a los inferidos en puntos anteriores. Los autores también mencionan que mayores concentraciones de cloruros podrían indicar un mayor tiempo de residencia de estas aguas en un acuífero subterráneo, permitiendo así que se den los procesos adicionales mencionados.

Asimismo, en el estudio de Cardona y Hernández se atribuye el origen de la composición química del agua (alta en cloruros) a la interacción de la misma con rocas volcánicas de México, las cuales presentan un tipo de lava andesítica, similar a la lava de los volcanes

de nuestra región (andesítica-basáltica). Finalmente, es importante rescatar también, como argumento contundente, que las aguas de lluvia no se espera que contengan iones cloruro (menos de 1 mg/l) al estar alejadas de la costa (Cardona y Hernández, 1995).

Esta investigación realizada en México permite explicar, además, otras características importantes de este punto de monitoreo. En dicho estudio se encontró un incremento proporcional entre cloruros y manganeso. El manganeso también se presenta en niveles significativos en CAP-2, aunque no es considerado en el análisis hidroquímico. La reacción de reducción de óxidos de manganeso es la siguiente:



De darse esta reacción redox, se consumiría los iones hidrógenos del agua subterránea y, por consiguiente, se elevaría el pH. En CAP-2, el promedio de pH para los 5 años de monitoreo es de 8.24, con promedios anuales pico de 8.5, por lo que inferimos que es esta reacción sería uno de los mecanismos de incorporación de manganeso al agua, sin perjuicio de que puedan existir otras fuentes externas que podrían adicionarlo a las aguas superficiales.

Evaluando las demás peculiaridades de CAP-2, de la información obtenida de los monitoreos, es resaltante también los altos niveles de fluoruros por lo que es preciso discutir en este punto el origen hidroquímico de estos niveles. Cardona y Hernández (1995) definen al flúor como un elemento litófilo, es decir, un elemento con afinidad por los silicatos, y que permanece en solución hasta las últimas etapas de la diferenciación magmática. De esta manera se define su disponibilidad en las rocas o minerales del acuífero. En el caso de su estudio, encontraron que las rocas volcánicas del Valle de México son muy poco diferenciadas. En el caso de nuestro país, nosotros nos encontramos con magma andesítico-basáltico. Es esta diferencia de la naturaleza del magma la que genera una diferenciación magmática mayor. Así lo menciona Samaniego, Rivera, Nauret, Liorzou y Ancellin (2018), cuando analizan la reconstrucción petrológica del Volcán Ubina y concluyen que existen procesos de diferenciación magmática necesarios para explicar la diversidad geoquímica y mineralógica del Ubina, y en su caso particular, están controlados por un proceso de cristalización fraccionada. En base a este análisis, podemos inferir que es posible que los altos niveles de fluoruros en este punto tengan también un origen magmático. Considerando además el análisis de manganeso y cloruros,

también podemos sugerir que se trata de aguas subterráneas con alto tiempo de residencia lo que genera estas peculiaridades hidroquímicas en CAP-2.

❖ Zona de Confluencia:

Finalizado el análisis de las zonas aguas arriba de los ríos Coscore y Huacanane, se muestra el análisis de la zona de confluencia de estos ríos, tomando como referencia los puntos COS-2, CAP-3 y TUM-3. En este análisis se varía un poco la metodología de presentación de datos. En los puntos anteriores evaluamos la variación hidroquímica, pero de forma temporal punto por punto, dado que el fin era conocer las características de cada uno. Para evaluar la zona de confluencia con los 3 puntos de monitoreo mencionados, nuestro fin fue mostrar las características de cada punto y compararlos a la vez. Por ello, se realizó la evaluación en simultáneo para los 3 puntos, variando solo el año de monitoreo. Comprendido esto, a continuación, se muestra los monitoreos realizados en los años 2018 y 2019.

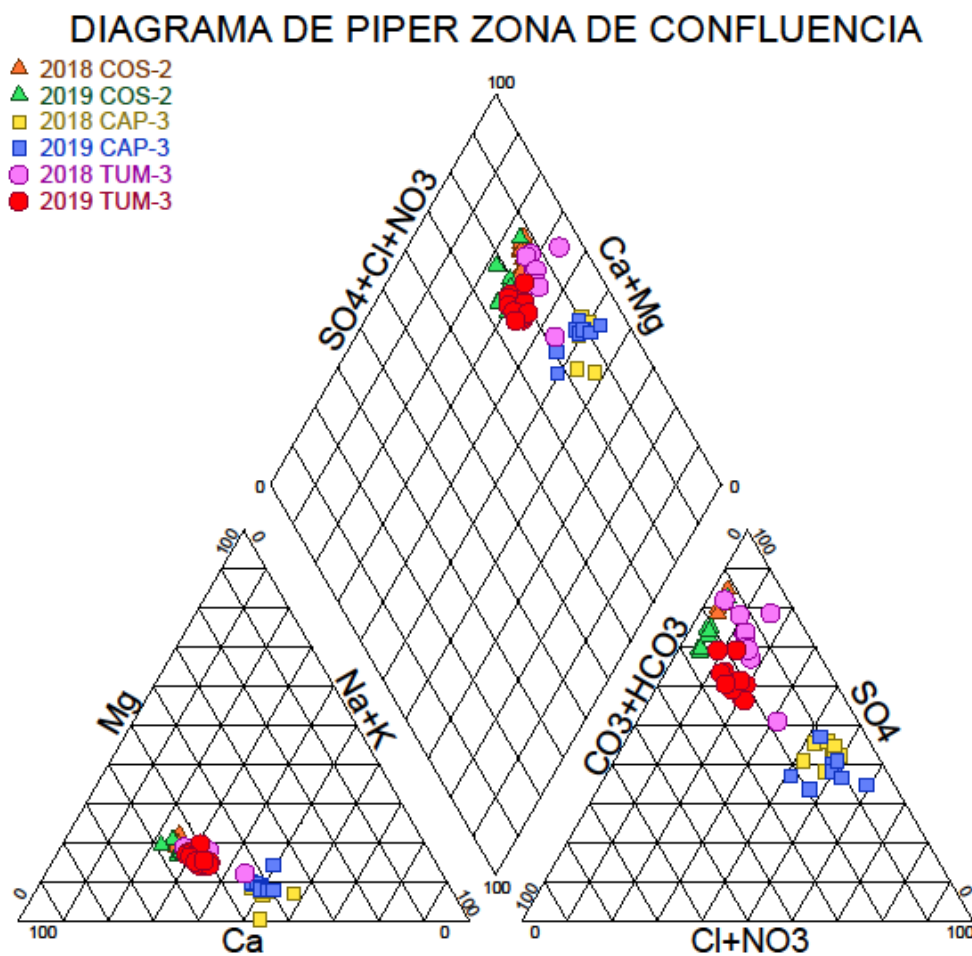


Figura 53. Diagrama de Piper para COS-2, CAP-3 y TUM-3 en las temporadas 2018-2019. FUENTE: Propia

Respecto a clasificación hidroquímica del agua, podemos observar que las tendencias no cambian respecto al año de medición (2018 y 2019). Así, tanto para COS-2 (simbolizado por ▲), como para TUM-3 (simbolizado por ○), se encuentran en la clasificación de aguas sulfatadas. Sin embargo, las aguas de CAP-3 muestran una posición diferente, mostrando una clasificación entre sulfatadas y cloradas, al igual que CAP-2 y CAP-1. Es importante mencionar que, entre COS-2 y TUM-3, los datos recogidos de monitoreo muestran una ligera tendencia a ubicar a los puntos de COS-2 (aguas arriba de la zona de mezcla) en una posición más elevada respecto a los puntos de TUM-3 (aguas debajo de la zona de mezcla), debido a la influencia de CAP-3, evidentemente. Esta variación de posición en el romboide superior se explica con el triángulo inferior izquierdo, en el que se muestra que los monitoreos de COS-2 muestran un menor porcentaje de Na + K respecto a TUM-3 y más marcadamente en comparación de CAP-3. Por otro lado, en el triángulo superior derecho, los 3 puntos muestran porcentajes cercanos de CO₃ + HCO₃. Sin embargo, varían en su porcentaje de SO₄ y Cl. Respecto a SO₄, la proporción es mucho mayor y cercana en COS-2 y TUM-3 (del 70 al 90 por ciento), mientras que en CAP-3, la proporción bordea el 50 por ciento. Este análisis se observará a detalle en los siguientes gráficos.

El diagrama de Schoeller-Berkaloff muestra una tendencia similar para ambos años de monitoreo. Las concentraciones más altas de los iones analizados se encuentran en el punto CAP-3. En general, las concentraciones de los iones en los puntos COS-2 y TUM-3 muestran concentraciones similares y bajas, de los iones mayoritarios; sin embargo, se analiza una situación particular. Evidentemente, por las altas concentraciones de Cl en CAP-3, TUM-3 (aguas abajo del punto de confluencia) muestra una concentración ligeramente mayor de este anión, respecto de COS-2 (aguas arriba del punto de confluencia). Pero, para SO₄, las altas concentraciones de este anión no influyen para generar una variación significativa de TUM-3 respecto de COS-2, para ambos años.

ZONA DE CONFLUENCIA 2018

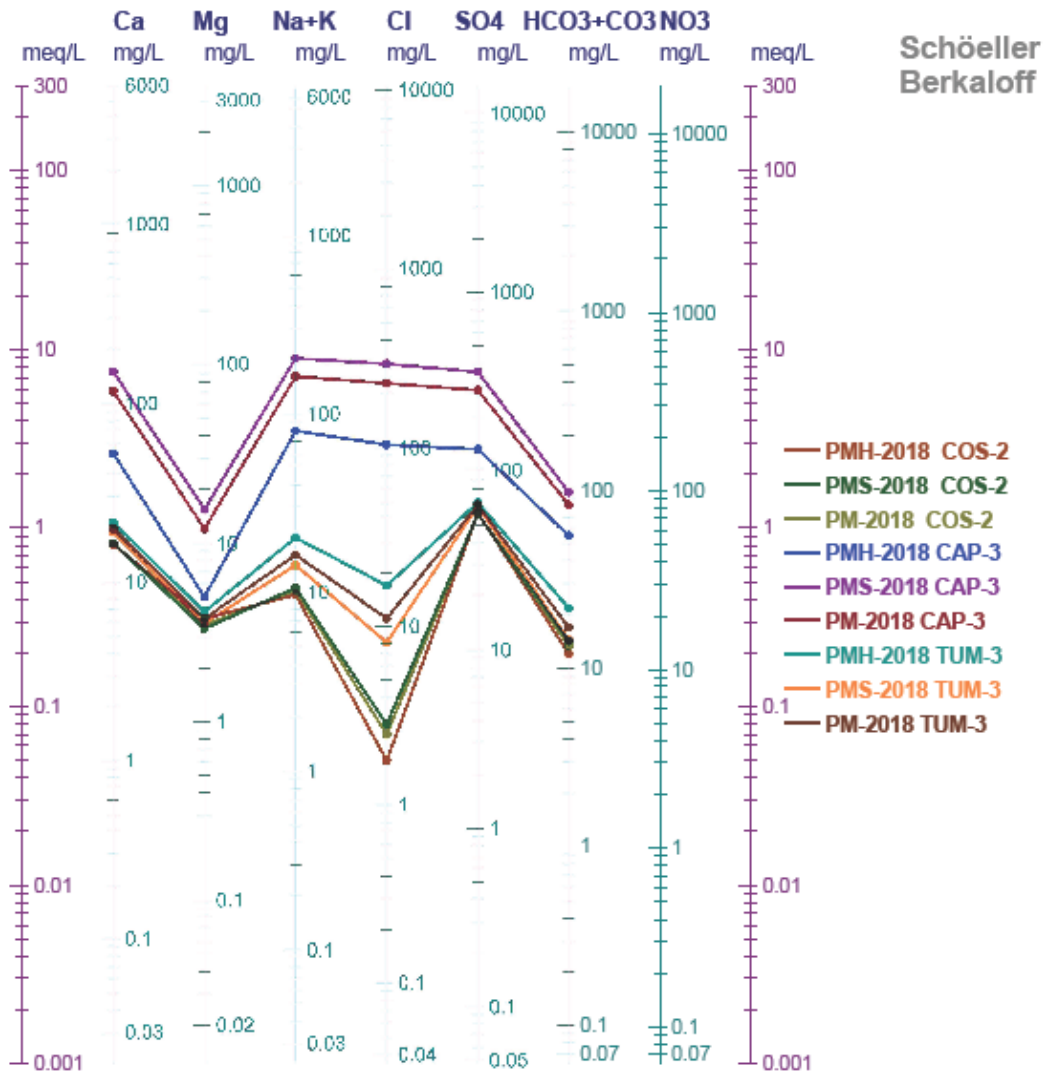


Figura 54. Diagrama de Schoeller-Berkaloff para COS-2, CAP-3 y TUM-3 en las temporadas 2018. FUENTE: Propia

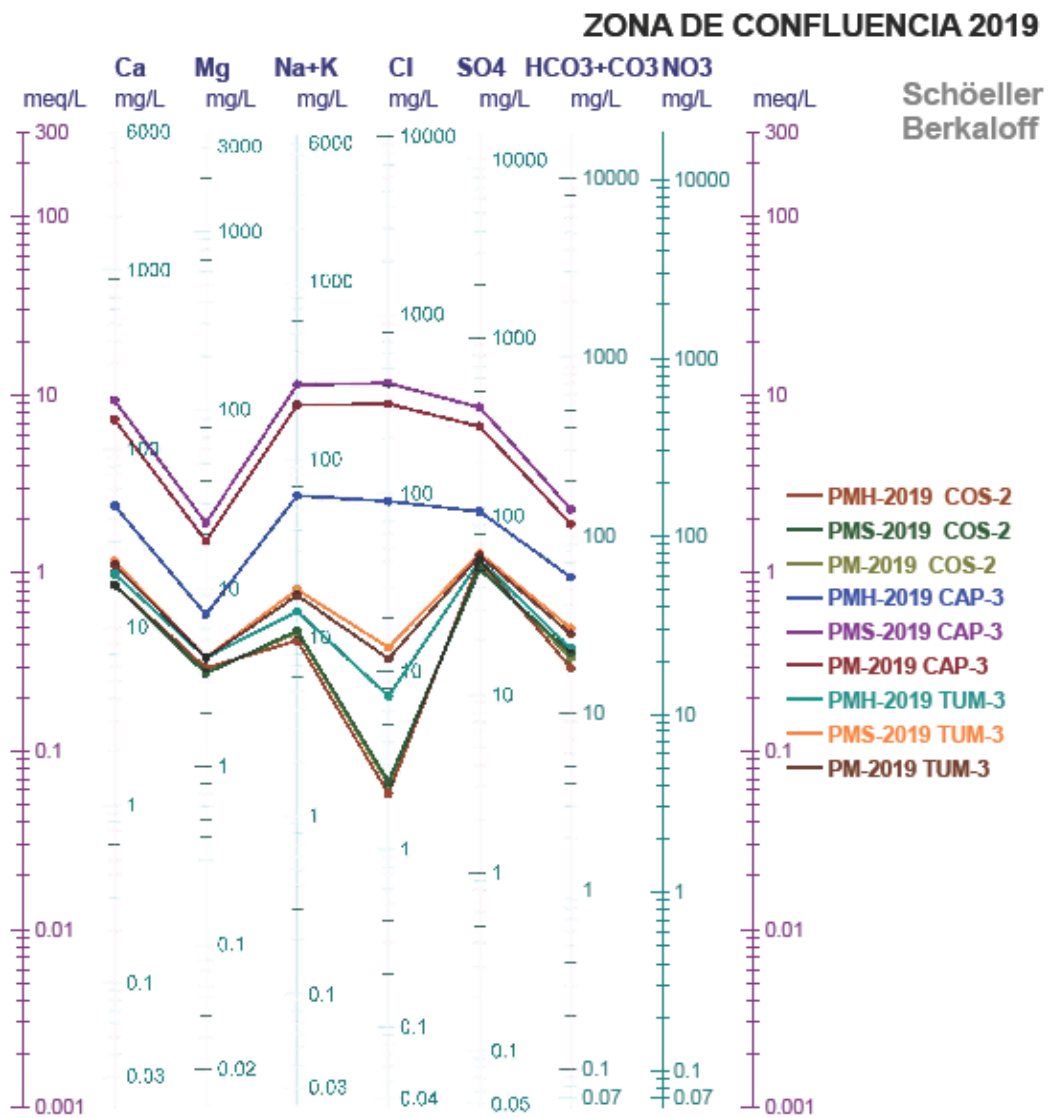


Figura 55. Diagrama de Schoeller-Berkaloff para COS-2, CAP-3 y TUM-3 en las temporadas 2019. FUENTE: Propia

Respecto al diagrama de Stiff, se muestran los polígonos formados en cada año de monitoreo y temporada. Al igual que el gráfico anterior, la tendencia es similar en ambos años. Aquí, el polígono diferenciado se muestra para CAP-3. Lo interesante de este punto CAP-3 es que se muestra una misma tendencia para una temporada en específica: temporada seca. Así, gran parte de los iones aumenta de concentración considerablemente en temporada seca, para disminuir su concentración en temporada húmeda, que se debería a la crecida del caudal. Cabe resaltar que HCO₃+CO₃ y Mg son los únicos iones que no varían significativamente de acuerdo a la temporada en CAP-3.

ZONA DE CONFLUENCIA 2018

Stiff

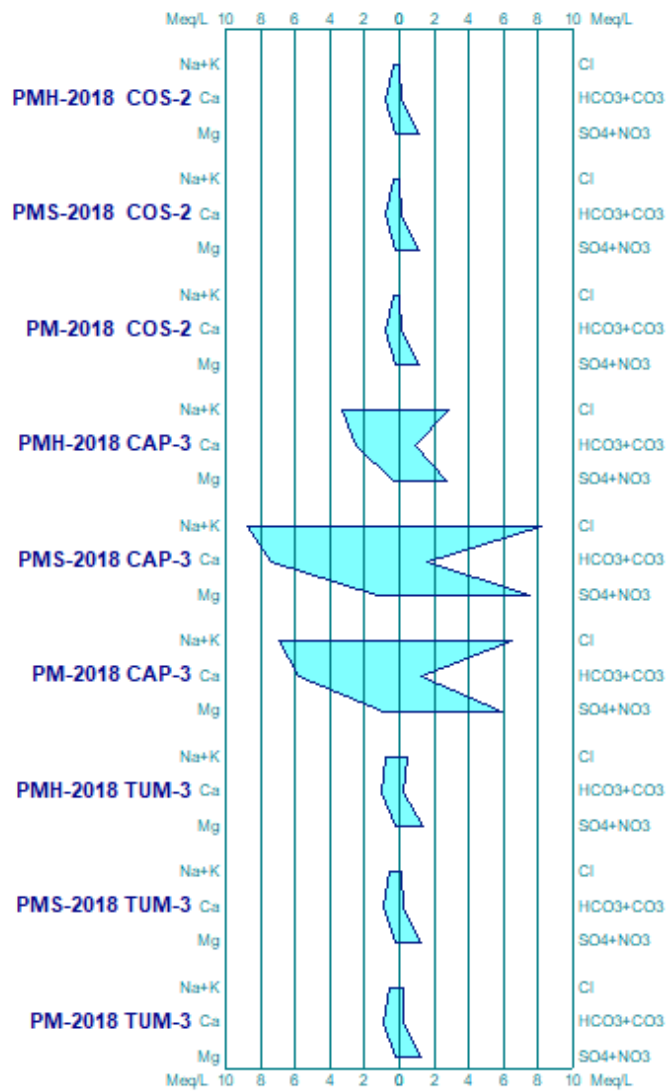


Figura 56. Diagrama de Stiff para COS-2, CAP-3 y TUM-3 en las temporadas 2018. FUENTE: Propia

ZONA DE CONFLUENCIA 2019

Stiff

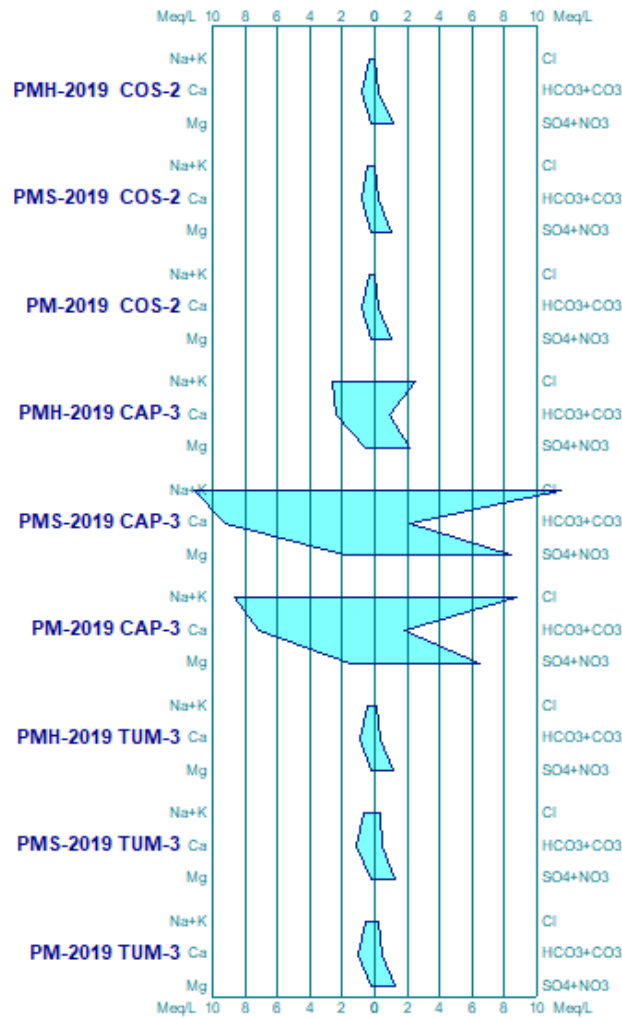


Figura 57. Diagrama de Stiff para COS-2, CAP-3 y TUM-3 en las temporadas 2018. FUENTE: Propia

Finalmente, se obtiene el diagrama de Stabler. Este diagrama nos permite observar desde otra óptica las predominancias de los iones mayoritarios. Lo que se muestra común en todos los diagramas es la predominancia del Ca respecto a los demás cationes. Esta muestra una mayor predominancia para los puntos ubicados en el curso principal (ríos Coscore y Tumulaca). Respecto a Cap-3, ubicado en el río Huacanane, este permite ver una predominancia compartida entre Na y Ca. Por otro lado, respecto a los aniones, podemos observar que para COS-2, la predominancia de SO4 es prácticamente absoluta. CAP-3 muestra una predominancia compartida nuevamente entre SO4 y Cl, para luego obtener una predominancia nuevamente de SO4 en TUM-3, aunque la participación de Cl en los gráficos obtenidos en este punto es mayor.

ZONA DE CONFLUENCIA 2018

Stabler

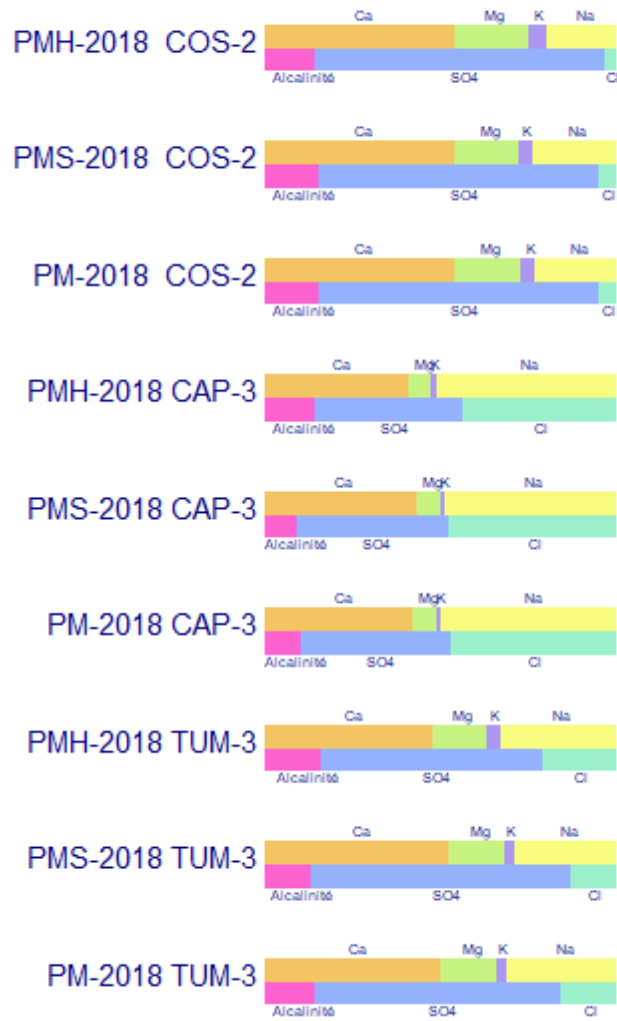


Figura 58. Diagrama de Stabler para COS-2, CAP-3 y TUM-3 en las temporadas 2018. FUENTE: Propia

ZONA DE CONFLUENCIA 2019

Stabler

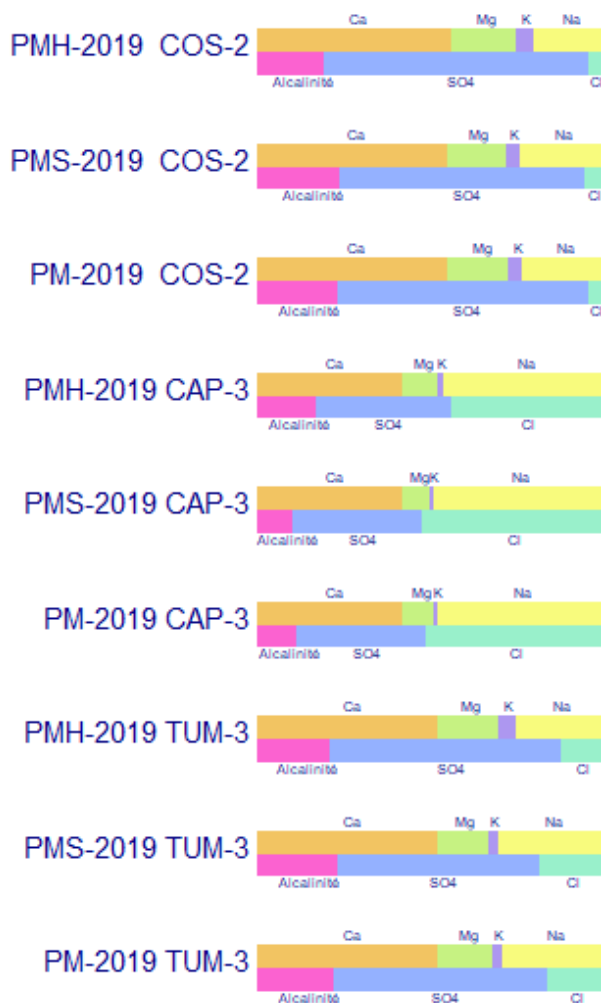


Figura 59. Diagrama de Stabler para COS-2, CAP-3 y TUM-3 en las temporadas 2019. FUENTE: Propia

Del análisis en la zona de confluencia, se puede extraer que:

- Respecto a la calidad hidroquímica de los puntos, tanto COS-2 como CAP-3, mantienen la misma clasificación que los puntos aguas arriba analizados para cada curso de agua (P-12 y CAP-2, respectivamente). Por lo tanto, las aguas de COS-2 están influenciadas por la mineralización de las rocas con alto contenido de feldespatos y plagioclasas, y las características de CAP-3 se debería al alto tiempo de residencia de las aguas subterráneas.

- Sin embargo, para CAP-3, es preciso agregar una característica hidroquímica que se mostró también en CAP-2 y no es mostrada con los iones mayoritarios. Esta

característica es los niveles altos de Boro. El análisis en CAP-2 había sugerido los altos tiempos de residencia como factor de origen de las características hidroquímicas. En este punto es preciso analizar el papel del Boro dentro de las aguas subterráneas. San Miguel de la Cámara (1956) describe la geoquímica del Boro en aguas termales. Él menciona que es un elemento que se encuentra en fuentes termales, y en general, en manifestaciones volcánicas, coincidiendo con las características del material parental analizado en CAP-2. También menciona que es característico de las fases finales de cristalización magmática, y se puede encontrar en minerales como biotita, anfíboles, minerales de primera fase de cristalización y silicatos, los cuales lo puede adoptar en su estructura molecular. Es decir, tiene presencia en magmas básicos, los cuales conforman una pequeña proporción de la naturaleza magmática del Perú (andesítico basáltico), por lo que es esperable encontrarlo. Esta presencia se comprueba finalmente con el estudio realizado por Nazario (1998), en el cual afirma que la presencia de Boro en los suelos de la costa sur del Perú está determinada por los materiales parentales de origen volcánico, sobre los cuales se desarrollaron los suelos. Así, podemos añadir que los altos tiempos de residencia del agua subterránea también generarían la alta concentración de Boro tanto en CAP-3 como en CAP-2.

Al finalizar el capítulo podemos inferir que el curso de agua del río Huacanane influye levemente en la calidad hidroquímica del curso de agua de los ríos Coscore y Tumulaca, dado que los diagramas y gráficos obtenidos de estos análisis muestran que a pesar de mantener la tendencia y la misma clasificación de aguas para COS-2 y TUM-3, los altos niveles de algunos parámetros generan leves diferencias que deberían considerarse en el análisis general, ya que es parte de la interacción de las aguas subterráneas con las rocas.

4.3 Evaluación de los procesos hidrogeológicos influyentes en la calidad hidroquímica del agua superficial

En este punto, luego de haber discutido los resultados de la evaluación hidroquímica, se evaluó la influencia de los procesos hidrogeológicos influyentes en la misma, a manera de complemento al mencionado capítulo. Para ello, se procedió a obtener la gráfica de relaciones de iones específicos Mg/Ca vs Mg/Na y el Diagrama de Gibbs, con el fin de conocer la influencia hidrogeológica en la calidad hidroquímica de las aguas superficiales en la zona de estudio.

En primer término, y al igual que los capítulos anteriores, esta evaluación está dada desde la temporada 2011 a la 2015, realizada con el fin de mostrar la evolución de calidad del agua en estos años, aguas arriba de la zona de confluencia de los ríos Coscore y Huacanane.

❖ Aguas arribas de COS-2:

Respecto a los puntos de monitoreo correspondientes en esta sección, se evalúa en primer lugar el gráfico Mg/Ca vs Mg/Na. Ambos gráficos muestran una tendencia hacia la derecha (proceso de interacción agua-roca predominante), aunque es ligeramente mayor para P-12 respecto a CH-3. Esto es congruente con el análisis hidroquímico analizado en el capítulo anterior, el cual sugirió que P-12, con aguas sulfatadas, la mineralización era ligeramente mayor, por la influencia de la anhidrita. Por otro lado, esta tendencia no es absoluta, ya que también se observa que hay una influencia de lixiviados de sodio. Esto también es coherente, dado que las características parentales han generado suelos desarrollados con estos minerales, los cuales se habían analizado en el capítulo anterior que serían feldespatos, plagioclasas y cuarzo, entre otros. Además de ello, se puede inferir que la evaporación no es un proceso influyente en la calidad hidroquímica en ambos puntos, dado que las proporciones de calcio en ambos puntos no se ven disminuidas respecto en relación con el magnesio, sino todo lo contrario.

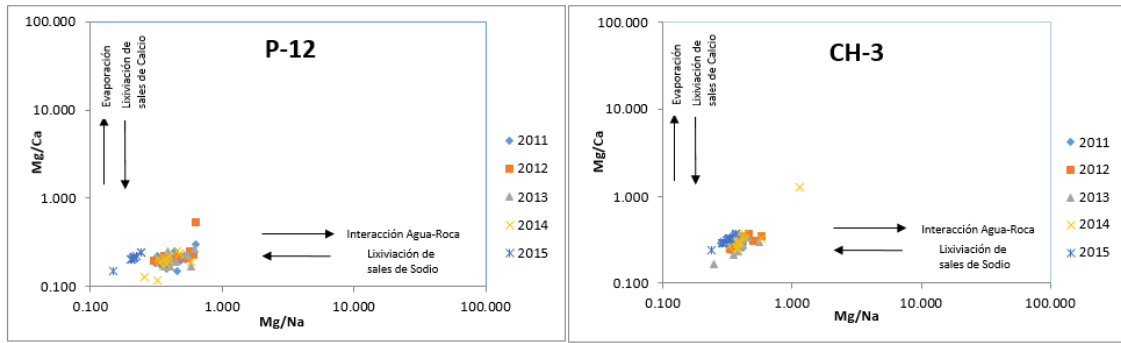


Figura 60. Gráficos Mg/Ca vs Mg/Na para P-12 y CH-3 en las temporadas 2011-2015. FUENTE: Propia

Asimismo, se presenta el diagrama de Gibbs. Podemos observar que se confirma la tendencia marcada en el punto anterior, tanto para los cationes como para los aniones para ambos puntos de monitoreo, mostrando el origen de sus características en las interacciones con la roca y con el suelo. Sin embargo, respecto a cationes, se observan que los datos de monitoreo muestran una tendencia hacia la el área de precipitaciones, por lo que podemos inferir que la influencia de la precipitación en los cationes es mayor.

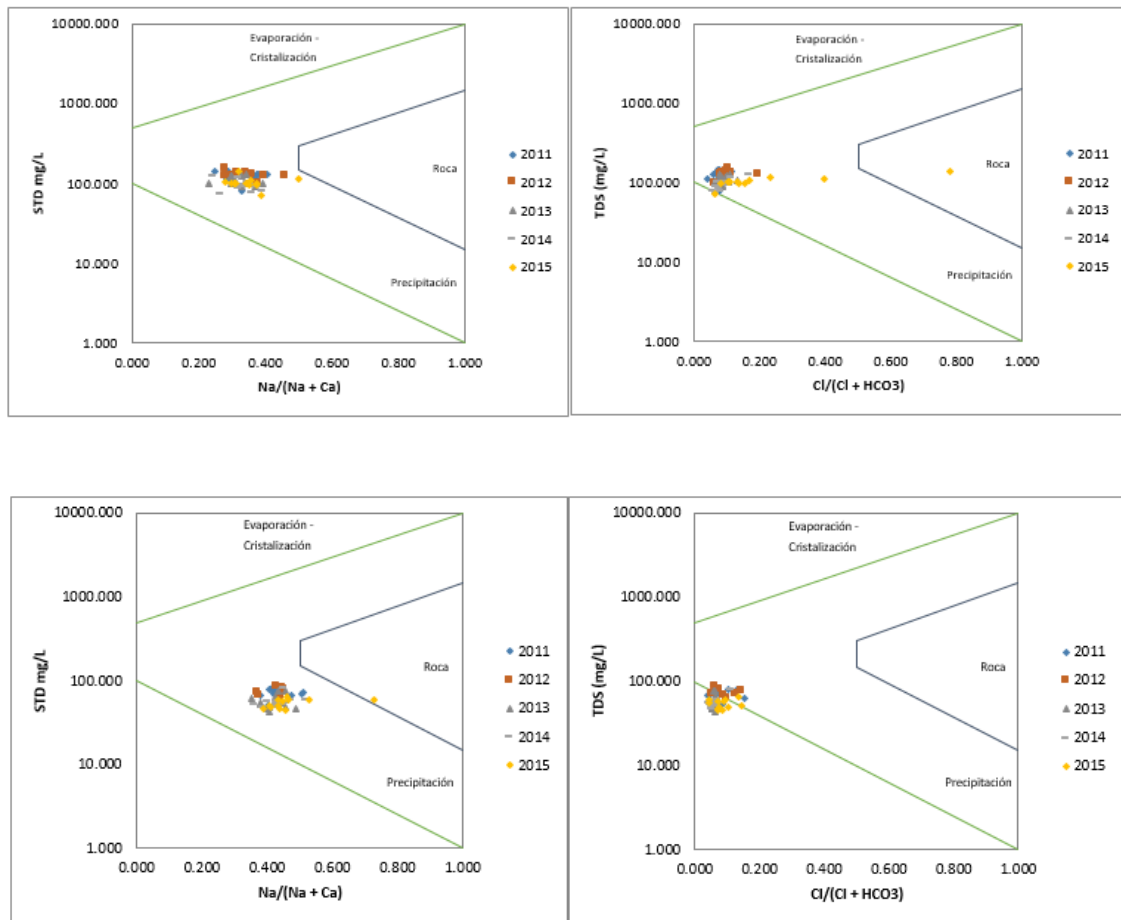


Figura 61. Diagramas de Gibbs para P-12 (superior) y CH-3 (inferior) en las temporadas 2011-2015. FUENTE: Propia

❖ Aguas arribas de CAP-3:

Respecto a los puntos de monitoreo correspondientes en esta sección, se observan características ya vistas en el capítulo anterior. Se había observado que el tipo de agua para CAP-1 era muy similar en sus características a CH-3, evidenciando factores similares para ambos puntos. Sin embargo, para CAP-2 se muestra una situación diferente. A comparación de los diagramas de los puntos anteriores, los datos de monitoreo están ubicados en mayor medida a la izquierda. Esto indicaría una influencia en menor medida de la interacción entre agua-roca y una mayor participación de las lixiviaciones, respecto al magnesio y sodio. Respecto al calcio, sucede de igual manera, mostrando una predominancia de lixiviados frente al proceso de evaporación. Aparentemente, se mostraría una contradicción dado que la influencia predominante es la de los lixiviados de calcio y sodio generados por precipitaciones o escorrentía superficial, frente a la interacción agua roca. Es importante mencionar el principio fundamental de este análisis, que es la composición minoritaria de magnesio en las sales del suelo y su poca facilidad de precipitar en las primeras etapas de evaporación (Webster Brown y Vincent, 1994). Sin embargo, se había observado en el capítulo anterior que para este punto de monitoreo los altos niveles de distintos parámetros eran evidentes, siendo el magnesio uno de los afectados. Debido a esto, resulta poco representativo obtener información del gráfico de relaciones de iones específicos para CAP-2. La información se podrá analizar con una mayor representatividad en el Diagrama de Gibbs siguiente para este punto de monitoreo.

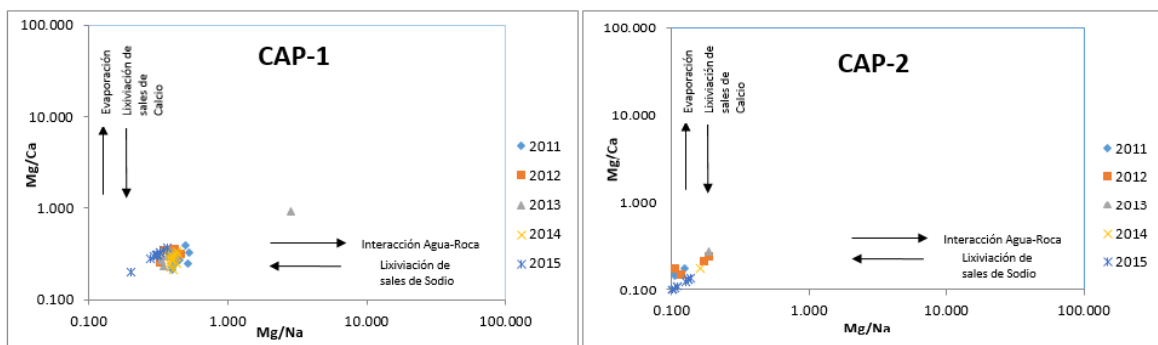


Figura 62. Gráficos Mg/Ca vs Mg/Na para CAP-1 y CAP-2 en las temporadas 2011-2015. FUENTE: Propia

Con respecto al diagrama de Gibbs, para CAP-1, la explicación es muy similar que para CH-3, con mecanismos influyentes de interacción agua roca y escorrentía superficial que genera lixiviados del suelo, y en ambos casos, la ligera tendencia de posición hacia las precipitaciones, mostrando también su influencia.

Para CAP-2 se muestra una situación particular que no había sido mostrada en los análisis anteriormente realizados. Se muestra que la predominancia del proceso que influencia la hidroquímica superficial en este punto es la evaporación y cristalización, tanto para aniones como para cationes.

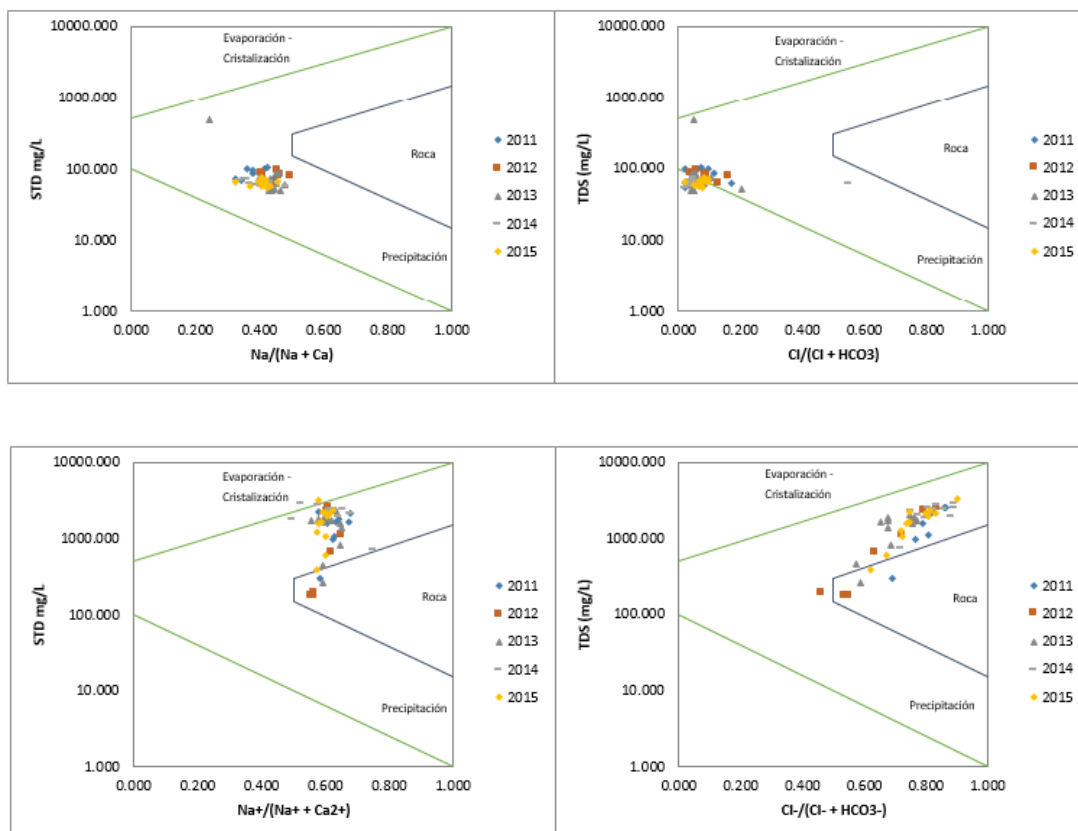


Figura 63. Diagramas de Gibbs para CAP-1 y CAP-2 en las temporadas 2011-2015. FUENTE: Propia

Para analizar un poco más cómo sucede este proceso, a continuación, mostramos los promedios de caudal anuales medidos tanto en CAP-2 como en CAP-1, con el fin de poder evidenciar el grado de evaporación que ocurre en este punto.

Tabla 26. Variaciones de caudal en CAP-1 y CAP-2 entre las temporadas 2011-2015.

Año de monitoreo	Caudal CAP-1	Caudal CAP-2	Porcentaje de aumento
PM-2011	52.77	57.34	8.66%
PM-2012	396.84	427.20	7.65%
PM-2013	193.90	43.23	-77.70%
PM-2014	20.78	10.55	-49.23%
PM-2015	79.56	71.47	-10.17%

FUENTE: Elaboración Propia

Respecto a la Tabla 27, se muestra las variaciones del caudal entre CAP-1 y CAP-2, los cuales están distanciados por aproximadamente 13 km. En base a esta distancia, y teniendo como precedente el análisis del Diagrama de Gibbs, en donde la evaporación y cristalización son los procesos predominantes en estos puntos, es esperable que el crecimiento de caudal se muestre a un nivel bajo. Así se da para la temporada 2011 y 2012, con crecimiento cercanos del 8.66 y 7.65 por ciento. Sin embargo, entre el 2013 y 2015 se muestra que el caudal es mucho menor que CAP-1, llegando a un pico en el 2013 de 77.70 por ciento de decrecimiento, y ralentizándose para los 2 años posteriores con decrecimiento de 49.23 y 10.17 por ciento. Se podría esperar que entre ambos puntos haya puntos de toma de agua, toda vez que es conocido que en áreas cercanas a estos puntos de monitoreo se practica la agricultura. Sin embargo, el drástico cambio de caudal entre el 2012 y 2013 adicionalmente podría tener una explicación particular. Se había discutido ya en el capítulo anterior la influencia del material geológico de origen volcánico en las características hidroquímicas superficiales, sin embargo, en este caso también habría influencia de la actividad volcánica per se. Mariño et al. (2015) describe en su investigación la evolución, productos emitidos y efectos de la erupción del volcán Ubinas, y allí confirma que este evento ocurrió entre los años 2013 y 2014. Asimismo, en el capítulo anterior se discutió la influencia del tiempo de residencia de las aguas subterráneas con el material geológico de origen volcánico. A pesar de estar ubicado a más de 80 km al norte de la zona de estudio, es posible que haya una relación entre esta actividad anómala magmática subsuperficial que dio origen a la erupción del volcán Ubinas con los flujos de agua subterránea en el área de estudio y, que esta actividad, sea uno de los principales factores de la drástica caída del caudal en este punto de monitoreo, a través de la evaporación y cristalización en los recursos hídricos que usualmente se incorporan al río Huacanane, por medio del calor subsuperficial.

❖ Análisis en el punto de confluencia

En segundo término, se evaluó la hidrogeoquímica del agua superficial en la zona de confluencia de ambos ríos. Esta evaluación está dada desde la temporada 2018 a la 2019 y se realiza con el fin de mostrar la influencia real del río Huacanane sobre los ríos Coscore y Tumulaca. Los puntos considerados para esta etapa son: CAP-3, COS-2 y TUM-3. A continuación, se muestra los diagramas requeridos para estos tres puntos resaltando los años en que fueron monitoreados.

Respecto a los 3 diagramas, se puede observar que las tendencias en la generación de las características hidroquímicas en cada punto de monitoreo se mantiene acorde con el análisis anterior en los cursos aguas arriba de los mismos. Respecto al punto COS-2, se muestra que el proceso influyente en la calidad de agua es la generación lixiviados y la interacción del agua con la roca. Esta tendencia se mantiene muy similar aguas abajo del punto de confluencia, en TUM-3, evidenciando que, respecto a las relaciones de iones específicos, CAP-3 no influye en las características del curso de agua de los ríos Coscore y Tumilaca.

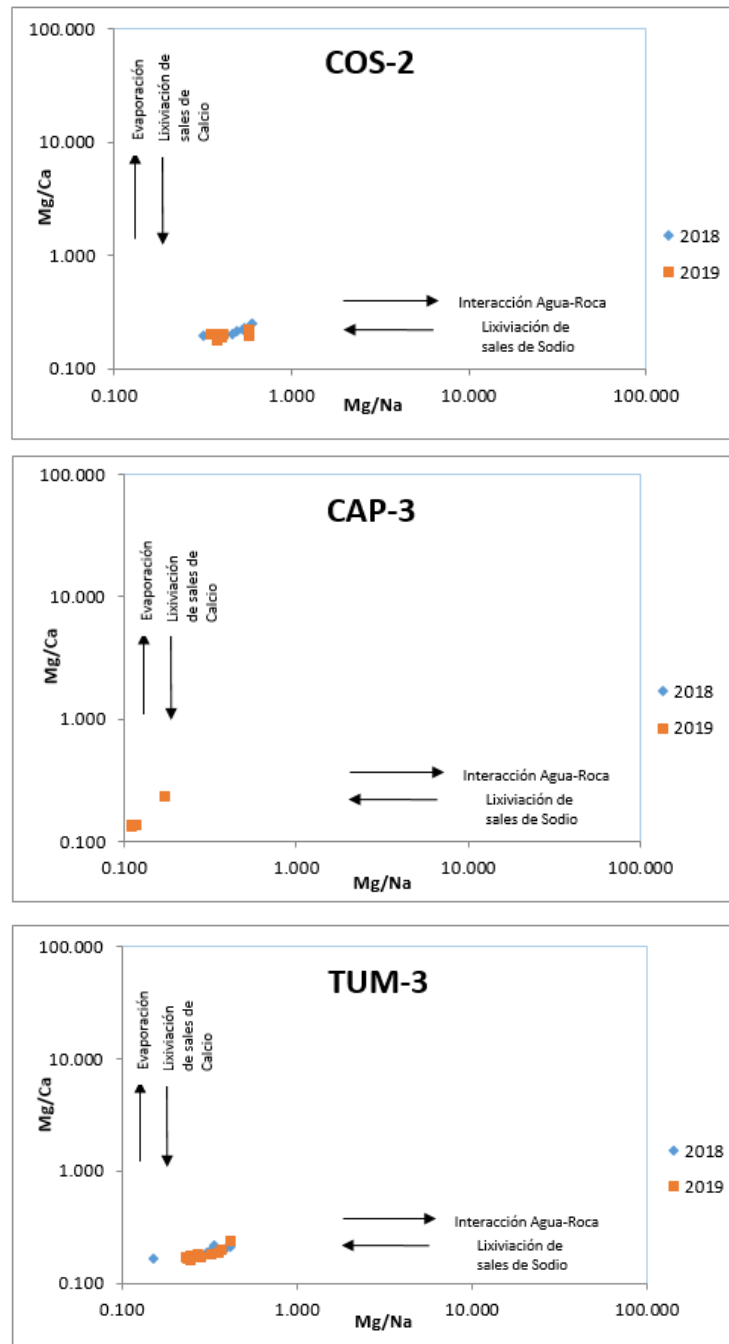


Figura 64. Gráficos Mg/Ca vs Mg/Na para COS-2, CAP-3 y TUM-3 en las temporadas 2011-2015. FUENTE: Propia

Es preciso resaltar nuevamente las características peculiares de CAP-3, en el que se observa que predominaría la influencia de los lixiviados de sodio y calcio junto con la escorrentía superficial. Sin embargo, podemos observar que para este punto también se muestra altos niveles de magnesio (promedio de más de 15 mg/L frente a un promedio de entre 3 y 4 mg/L para los otros 2 puntos de monitoreo analizados). Esto nos sugiere que este análisis de relaciones de iones específicos no resultaría efectivo para este punto, dado el principio fundamental de este, que es la baja concentración de este catión en el suelo (Webster Brown y Vincent, 1994). Por consiguiente, la presencia de minerales ferromagnesianos para este punto generaría esta ineffectividad y es necesario un análisis complementario, que en este caso es el diagrama de Gibbs.

El Diagrama de Gibbs para la zona de confluencia muestra una tendencia similar al análisis de los cursos aguas arriba. En el curso de los ríos Coscore y Tumilaca (COS2 y TUM-3) se muestran características similares, en la escorrentía del suelo junto con la interacción agua roca predominan como procesos influyentes en la calidad hidroquímica, respecto a los cationes y aniones. Sin embargo, TUM-3 muestra una ligera tendencia hacia la región de evaporación y cristalización, en mayor medida mostrada para los aniones. Esta es la influencia de CAP-3, evidenciando la influencia de CAP-3 en TUM-3 respecto de COS-2.

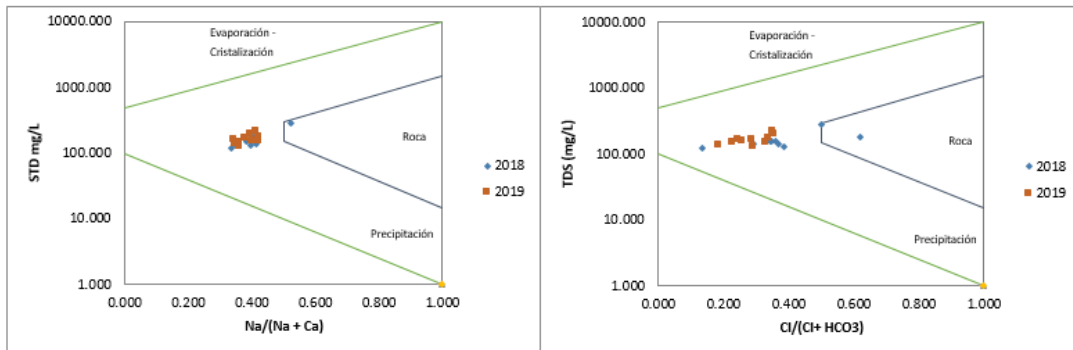
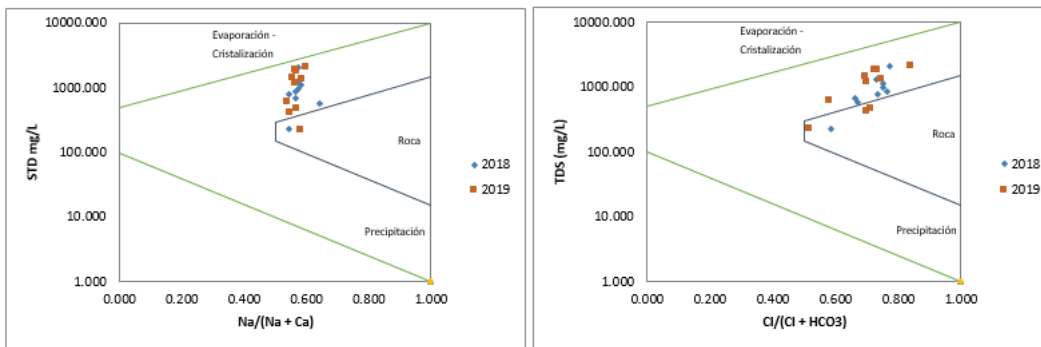
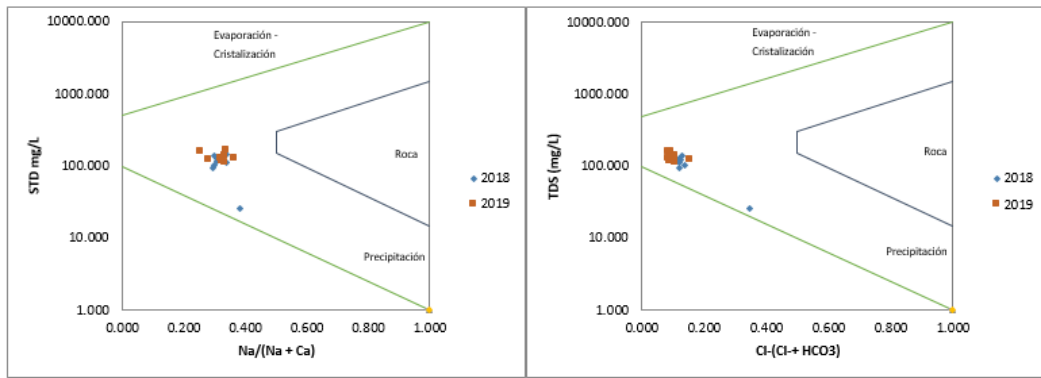


Figura 65. Diagramas de Gibbs para COS-2, CAP-3 y TUM-3 en las temporadas 2011-2015. FUENTE: Propia

4.4 Modelado de mezcla de cursos de agua mediante Cormix

En este capítulo se evalúa la dispersión de algunos parámetros con concentración elevada del río Huacanane al confluir con el Río Coscore. Esta evaluación permite conocer como es la variación de las concentraciones de estos en la zona de mezcla y a medida que se aleja aguas abajo de ella. Así, se procedió a utilizar el modelo Cormix 1 el cual se ajusta, dentro de todos los modelos de Cormix, al caso estudiado en el presente estudio. A continuación, en la primera etapa mostramos los datos ingresados al modelo y en la segunda etapa la interpretación de los datos obtenidos.

1. Corrida del programa:

En base a los análisis de los capítulos anteriores, se seleccionó los siguientes parámetros:

- Fluoruros
- Boro
- Manganeso

Esto debido a que estos parámetros mostraron altas concentraciones en CAP-3, a diferencia de COS-2 y TUM-3, de forma general. Sin embargo, para el presente modelo, fue necesario tomar el dato de una fecha de monitoreo común en específico, dado que se determinará datos estimados para su comparación con datos reales. Por fines didácticos se tomó abril 2019, por los siguientes motivos:

- Para abril de 2019, CAP-3 sobrepasa los límites del ECA 2017 para Fluoruros, Boro y Manganeso
- Los caudales registrados en abril 2019 son muy cercanos a los promedios anuales de caudal del año 2019 para cada punto trabajado.

Entendido ello, a continuación, se muestra los datos críticos modelados con Cormix 1.

Tabla 27. Datos tomados en la zona de confluencia el 27 de abril de 2019.

Parámetros	COS-2	CAP-3	TUM-3	ECA AGUA 2017
Fluoruros	0.154 mg/L	1.386 mg/L	0.193 mg/L	1 mg/L
Boro	0.055 mg/L	5.383 mg/L	0.247 mg/L	1 mg/L
Manganeso	0.090 mg/L	0.429 mg/L	0.090 mg/L	0.2 mg/L
Caudal	1143 L/S	195 L/S	1363 L/S	--

FUENTE: *Elaboración Propia.*

Se buscó evaluar la capacidad de dispersión de estos parámetros, al confluir el río Huacanane sobre el Coscore y Tumilaca, considerando también el tiempo de dilución de este. El resultado del modelo fue de una serie de concentraciones que variaban de manera que se alejó al punto de confluencia de ambos cursos de agua. Una de ellas fue comparada con la registrada en el TUM-3, el cual está a una distancia de 1.6 km del punto de confluencia, tomando como ruta el cauce del río.

Es importante mencionar que, como parte los supuestos para la realización la presente investigación, se considera condiciones constantes en el ambiente en donde se desarrolla la mezcla de ambos cursos de agua. Por otro lado, el análisis está enfocado en la región denominada “descarga lejana”, debido a que estudiamos el proceso de dilución de los parámetros a medida que continúa el flujo aguas abajo del punto de confluencia.

Respecto al post-procesamiento, se utilizó la herramienta CorJet, para predecir la trayectoria y las concentraciones aguas abajo de los parámetros seleccionados. La utilización de esta herramienta se hace bajo el supuesto de hidrodinamicidad estable en la difusión, sin interacciones. Además, la segunda herramienta a utilizar es el CorVue, que permite visualizar el comportamiento de la zona de mezcla y la pluma.

Así, respecto a la información ingresada al programa, se detalla una corrida por cada parámetro. A continuación, se muestran los datos correspondientes:

h) Proyecto - Datos requeridos:

Nombre del Proyecto: **Modelamiento en la zona de confluencia del río Huacanane con los ríos Coscore y Tumilaca, Moquegua - Perú**

Caso del diseño (Cormix 1, 2 o 3): **Cormix 1**

4. Nombre del Evaluador: **Bach. Gino Iglesias**

5. Nombre del Sitio: **Torata - Moquegua**

6. Fecha de Corrida: **15-04-2020**

Antecedentes: En el presente modelamiento, se va a predecir la concentración de los Fluoruros, Boro y Manganeseo, contenidos en el río Tumilaca, luego de confluir los ríos Coscore y Huacanane, hasta 3500 metros aguas abajo.

i) Efluente – Datos requerido

6. Tipo de agua: **Agua dulce**

7. Densidad o Temperatura: **Densidad 1000 kg/m³**
8. Caudal o Velocidad: **Caudal 0.195 m³/s**
9. Tipo de Contaminante: **Conservativo**
10. Exceso de Contaminante: **1.232 mg/L (Fluoruros), 5.383 mg/L (Boro) y 0.339 mg/L(Manganeso).**

Antecedentes: En este caso, es un cuerpo de agua continental, por lo que le corresponde agua dulce. La densidad se estima como 1000 kg/m³. Se toma como referencia el caudal del chorro, el cual es 195 L/s. Tanto al Fluoruro, Boro y Manganeso se les toma como conservativos, asumiendo que la concentración no decae o aumenta con el recorrido en el cuerpo de agua receptor, es decir, sin una fuente de generación o consumo en el tramo. Cabe mencionar que, el exceso de contaminante se calcula como la diferencia de concentraciones entre el efluente y el cuerpo receptor.

j) Ambiente – Datos requeridos:

6. Condiciones geométricas
 - Profundidad media del fondo en la zona de descarga: **1 m**
 - Profundidad de la descarga: **0.7 m**
 - Velocidad del viento: **2.6 m/s**
7. Parámetros físicos
 - Tipo de agua: **Dulce**
 - Medio receptor de densidad: **Uniforme**
 - Temperatura o Densidad: **1000 kg/m³**
8. Condiciones hidrodinámicas
 - Rugosidad: **Coefficiente de Manning 0.02**
9. Estabilidad del ambiente
 - Tipo: **Estable**
 - Caudal: **1.143 m³/s**
10. Limites
 - Borde: **Limitado**
 - Ancho del cuerpo receptor: **7m**
 - Apariencia del flujo: **Ligeros Meandros**

Antecedentes: En esta parte se muestra las condiciones del ambiente receptor del efluente. Los datos tomados respecto a la geometría del medio se obtuvieron de

las fichas de monitoreo de campo. La velocidad del viento se obtuvo como promedio anual en la estación Quellaveco, cercano a la zona de confluencia. Se consideró al medio como uniforme (sin estratos). Respecto a la rugosidad, se estimó la resistencia al flujo del canal con un número de Manning de 0.02. Además, el flujo se consideró estable, con un caudal de 1.143 m³/s (dato de campo). Finalmente, el cuerpo receptor tiene límites al ser un río el mismo. El ancho del río se realizó a través de Google Earth, obteniéndose 7 metros y la apariencia se consideró con ligeros meandros ya que, a pesar de no ser completamente lineal, sus irregularidades no muestran grandes cambios de dirección en el flujo.

k) Descarga – Datos requeridos:

Pestaña de tipo de modelo: **Cormix 1**

7. Banco Cercano: **Izquierda**
8. Distancia al banco cercano: **0.1m**
9. Angulo vertical THETA: **1°**
10. Angulo Horizontal SIGMA: **60°**
11. Diámetro del puerto: **2 m**
12. Altura del chorro: **sobre la superficie a 0.01 m**

Antecedentes: Como se viene mostrando, se trabajó con el modelo de Cormix 1. Respecto al banco cercano, se refiere a la posición del flujo mirando hacia la corriente del río aguas abajo; por ello se seleccionó por izquierda. La distancia al banco cercano hace referencia a los metros dentro del cuerpo receptor en los que el tubo se encuentra; tomamos cero al considerar al río Huacanáne como tal. Se considera un ángulo vertical THETA de 1° debido a que se consideró en un mismo plano horizontal ambos ríos. El ángulo horizontal SIGMA se consideró como 60°. El diámetro del puerto se consideró al ancho del río Huacanáne, el cual se obtuvo con Google Earth un valor estimado de 2 metros. Finalmente, se consideró al flujo de entrada sobre la superficie (no sumergido), casi al mismo nivel de altura, es decir a 0.01 metros (mínimo aceptado por el programa al considerarse por encima).

l) Zona de mezcla – Datos requeridos:

5. Tipo de efluente: **No Tóxico**
6. Estándar de calidad de agua: **Sí. 1 mg/L (Fluoruros), 1mg/L (Boro), 0.2 mg/L (Manganeso)**

7. Región de interés: **2000 m**

8. Intervalos de grillas: **25**

Antecedentes: Se consideró el valor del ECA agua 2017 para la categoría 3D1. La región que consideramos para evaluar la dilución es de 3500 m, con intervalos de 80 metros.

m) Salida de datos: Se selecciona la forma en la que los datos serán corridos; que puede ser por ventana emergente, impresos, ambos o ninguno. Entre las opciones se tiene:

5. Archivo de predicción

6. Reporte de la sesión

7. Recomendaciones de diseño

8. Registro de procesamiento

Solo se seleccionó las 2 primeras informaciones.

n) Procesamiento de datos: Se selecciona la forma en la que los datos serán corridos; en este caso se seleccionó la simulación completa.

2. Interpretación de resultados

En este punto se muestra los resultados obtenidos luego de corrido el modelo. Como se plantea en la metodología, se evaluará las concentraciones aguas abajo del punto de mezcla de los ríos Huacanane y Coscore, los cuales son originarios del río Tumilaca. A continuación, se muestra los datos obtenidos.

Tabla 28. Resultados del modelo de mezcla del río Huacaname y Coscore, respecto al parámetros de Fluoruros.

Eje X (Distancia aguas abajo en m)	Eje Y (Distancia al borde de confluencia en m)	Eje Z (Altura respecto a la parte inferior en m)	S (Factor de dilución hidrodinámica adimensional)	C1 (Concentración del exceso de carga en mg/L)	CF (Concentración acumulada de parámetros en mg/L)
80	-0.1	0.7	1.4	0.880	1.034
160	-0.1	0.7	2.3	0.536	0.690
240	-0.1	0.7	2.9	0.420	0.574
320	-0.1	0.7	3.5	0.357	0.511
400	-0.1	0.7	3.9	0.315	0.469
480	-0.1	0.7	4.3	0.286	0.440
560	-0.1	0.7	4.7	0.263	0.417
640	-0.1	0.7	5.0	0.245	0.399
720	-0.1	0.7	5.3	0.231	0.385
800	-0.1	0.7	5.6	0.218	0.372
880	-0.1	0.7	5.9	0.210	0.364
960	-0.1	0.7	5.9	0.210	0.364

FUENTE: Elaboración Propia

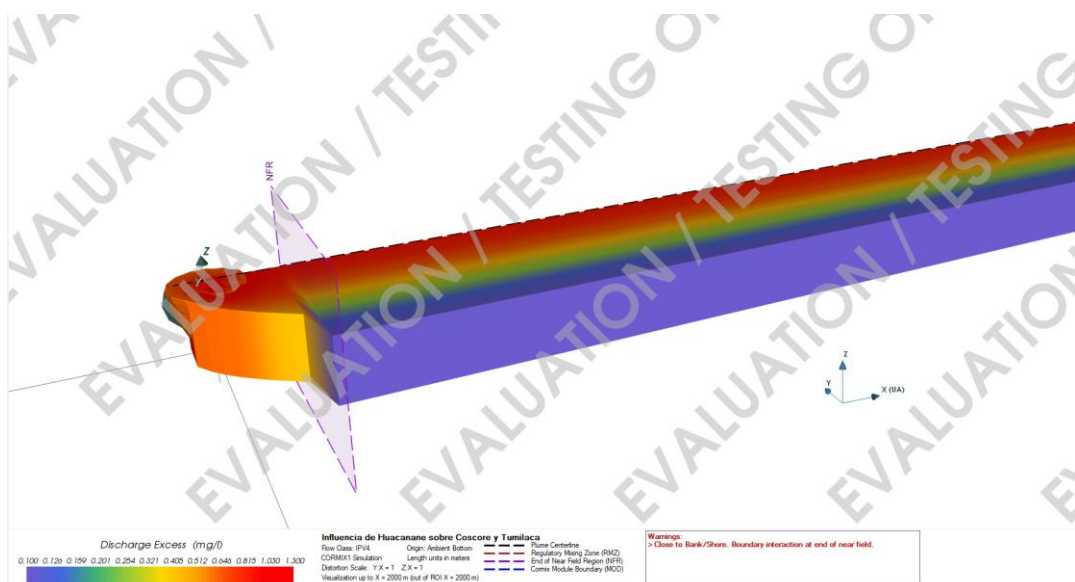


Figura 66. Vista angular de la simulación de dispersión de Fluoruros al mezclarse el río Huacaname con el río Coscore, en proporción de 10 a 1 (Eje Y respecto a Eje X). FUENTE: Propia

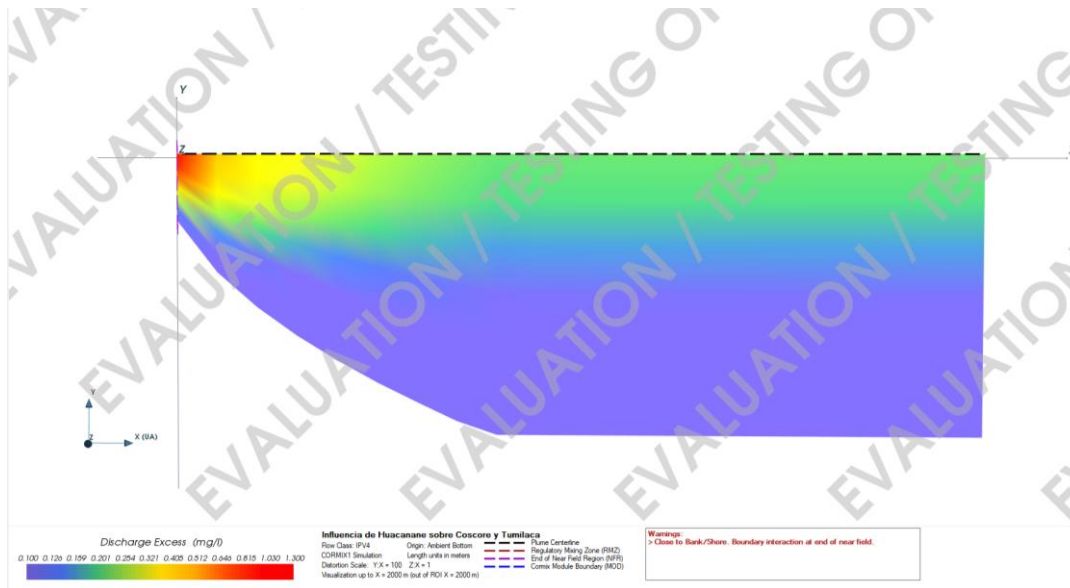


Figura 67. Vista superior de la simulación de dispersión de Fluoruros al mezclarse el río Huacanane con el río Coscore, en proporción de 10 a 1 (Eje Y respecto a Eje X). FUENTE: Propia

Tabla 29. Resultados del modelo de mezcla del río Huacanane y Coscore, respecto al parámetros de Boro.

Eje X (Distancia aguas abajo en m)	Eje Y (Distancia al borde de confluencia en m)	Eje Z (Altura respecto a la parte inferior en m)	S (Factor de dilución hidrodinámica adimensional)	C1 (Concentración del exceso de carga en mg/L)	CF (Concentración acumulada del parámetros en mg/L)
80	-0.1	0.7	1.4	3.800	3.855
160	-0.1	0.7	2.9	1.810	1.865
240	-0.1	0.7	3.9	1.360	1.415
320	-0.1	0.7	4.7	1.140	1.195
400	-0.1	0.7	5.3	0.997	1.052
480	-0.1	0.7	5.9	0.909	0.964
560	-0.1	0.7	5.9	0.909	0.964
640	-0.1	0.7	5.9	0.909	0.964
720	-0.1	0.7	5.9	0.909	0.964
800	-0.1	0.7	5.9	0.909	0.964
880	-0.1	0.7	5.9	0.909	0.964
960	-0.1	0.7	5.9	0.909	0.964

FUENTE: Elaboración Propia

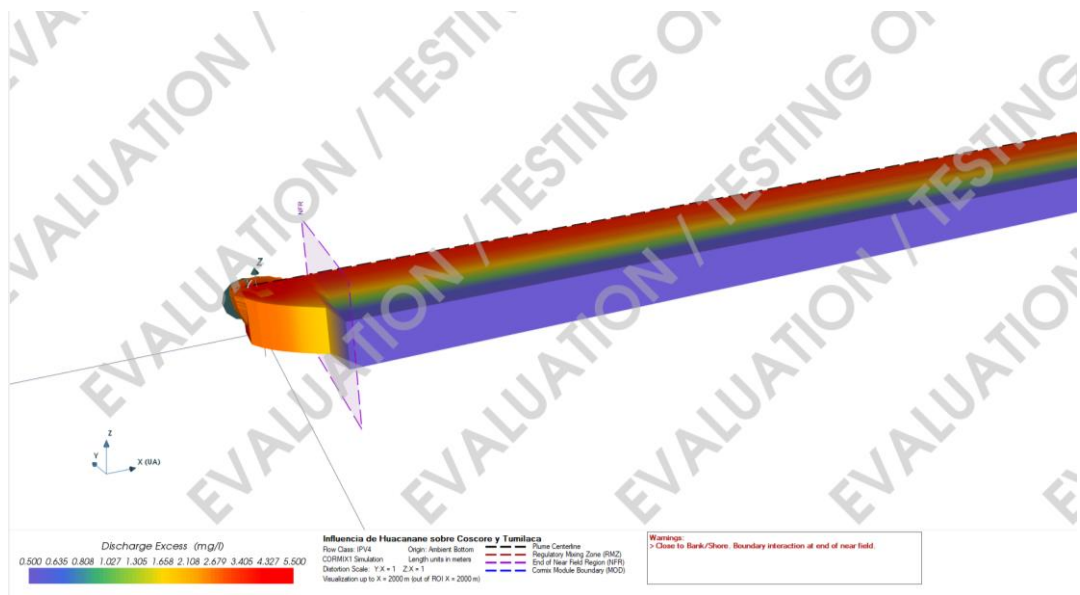


Figura 68. Vista angular de la simulación de dispersión de Boro al mezclarse el río Huacaname con el río Coscuro, en proporción de 10 a 1 (Eje Y respecto a Eje X). FUENTE: Propia

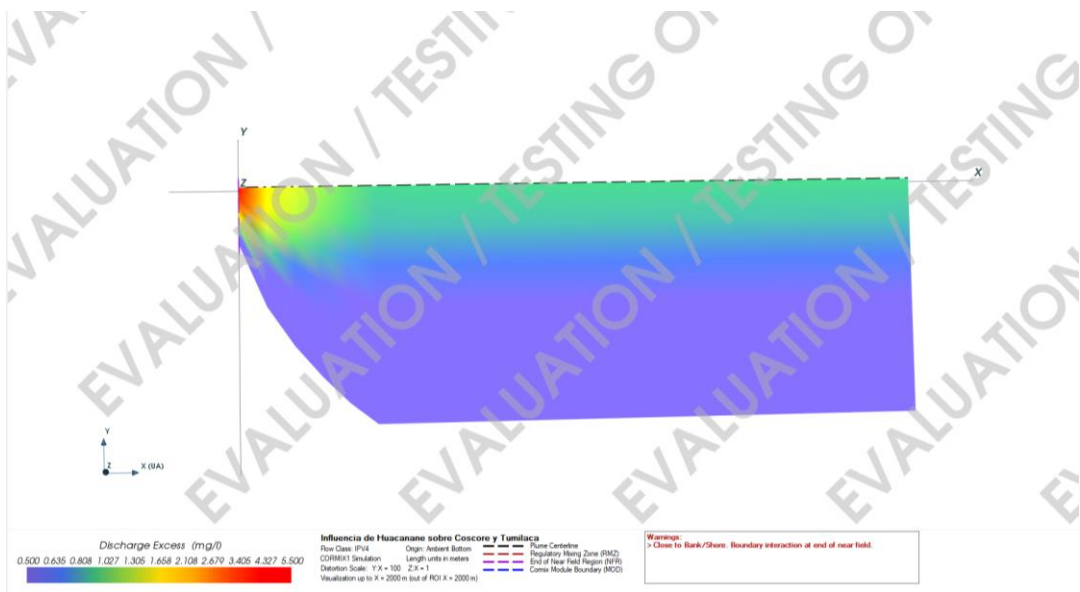


Figura 69. Vista superior de la simulación de dispersión de Boro al mezclarse el río Huacaname con el río Coscuro, en proporción de 10 a 1 (Eje Y respecto a Eje X). FUENTE: Propia

Tabla 30. Resultados del modelo de mezcla del río Huacaname y Coscore, respecto al parámetros de Manganeso

Eje X (Distancia aguas abajo en m)	Eje Y (Distancia al borde de confluencia en m)	Eje Z (Altura respecto a la parte inferior en m)	S (Factor de dilución hidrodinámica adimensional)	C1 (Concentración del exceso de carga en mg/L)	CF (Concentración acumulada del parámetros en mg/L)
80	-0.1	0.7	1.4	0.242	0.332
160	-0.1	0.7	2.9	0.115	0.205
240	-0.1	0.7	3.9	0.087	0.177
320	-0.1	0.7	4.7	0.072	0.162
400	-0.1	0.7	5.3	0.063	0.153
480	-0.1	0.7	5.9	0.058	0.148
560	-0.1	0.7	5.9	0.058	0.148
640	-0.1	0.7	5.9	0.058	0.148
720	-0.1	0.7	5.9	0.058	0.148
800	-0.1	0.7	5.9	0.058	0.148
880	-0.1	0.7	5.9	0.058	0.148
960	-0.1	0.7	5.9	0.058	0.148

FUENTE: Elaboración Propia

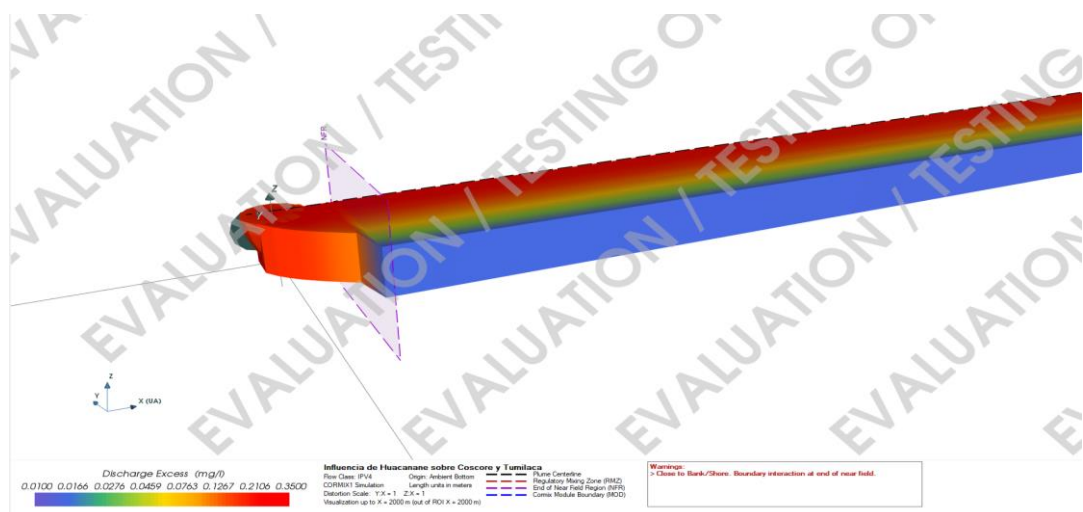


Figura 70. Vista angular de la simulación de dispersión de Manganeso al mezclarse el río Huacaname con el río Coscore, en proporción de 10 a 1 (Eje Y respecto a Eje X). FUENTE: Propia

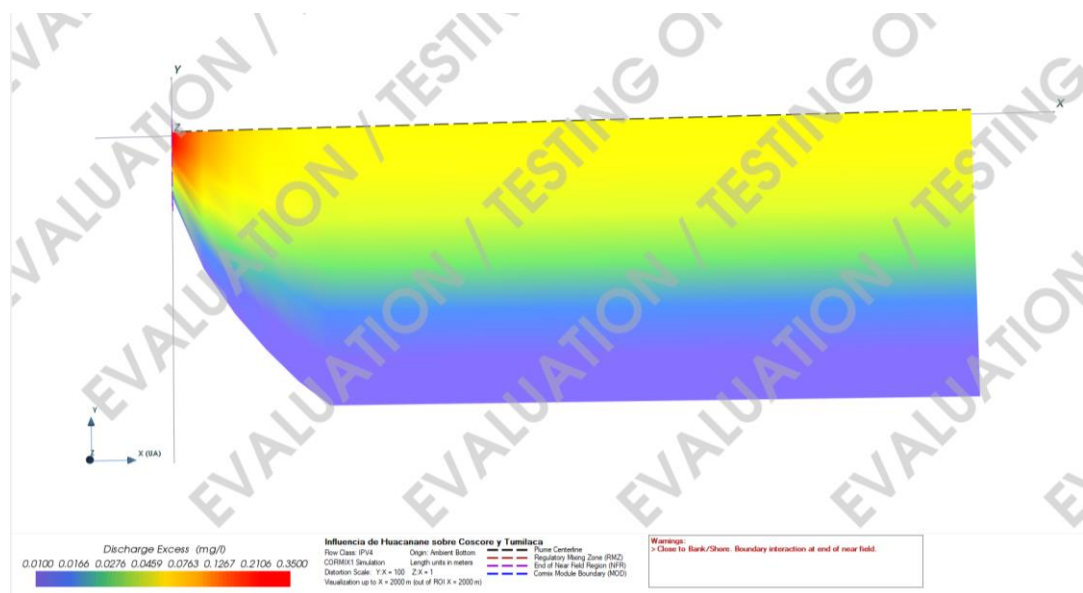


Figura 71. Vista superior de la simulación de dispersión de Manganeso al mezclarse el río Huacanane con el río Coscore, en proporción de 10 a 1 (Eje Y respecto a Eje X). FUENTE: Propia

Tabla 31. Comparación de concentraciones entre datos simulados y datos reales tomados aguas abajo del punto de mezcla de los ríos Huacanane y Coscore.

Distancia Aguas Abajo		Concentraciones en mg/L		
		Boro	Manganeso	Fluoruros
Concentraciones estimadas por CORMIX 1 en ambos bordes a 1680 m	Borde Izquierdo	0.964	0.148	0.364
	Borde Derecho	0.555	0.100	0.244
Concentraciones tomadas en TUM-3 (1680 m)		0.247	0.090	0.193

FUENTE: Elaboración Propia

Respecto a la información de la simulación obtenida, se muestran las tablas 29, 30 y 31, las cuales muestran la variación de concentración en una misma línea de corriente, hasta llegar a un punto estable en el que aguas abajo no varía la concentración. En primera instancia es importante mencionar que la mezcla total, respecto a la línea de corriente a 0.1 del borde izquierdo, dentro del cuerpo receptor se da a una distancia menor a un kilómetro aguas abajo para los 3 parámetros en análisis (480 metros para Boro y Manganeso mientras que 880

metros para Fluoruros). Cabe resaltar que los resultados del modelo muestran la dilución de la concentración excedente del parámetro respecto al cuerpo receptor, por lo que, para realizar el análisis, se consideró una concentración acumulada, agregando la concentración del parámetro en el cuerpo receptor, el cual se obtuvo del registro en el río Coscore antes de producirse la mezcla (Ver Tabla 39).

Las figuras 66, 68 y 70 muestran desde una vista angular elevada la dilución de los parámetros al mezclarse los cuerpos de agua. Desde esa perspectiva, la mezcla parece mostrarse similar para todos los casos. Sin embargo, en las figuras 67, 69 y 71, al rotar a una vista superior y variando la relación de los ejes de 10 a 1 (10 unidades del eje X equivalen a 1 unidad del eje Y), nos permite apreciar la dinámica de la mezcla con mayor detalle. Esta se da de manera similar para el Boro y Fluoruros, en los cuales la mezcla pierde intensidad rápidamente (baja) y se mantiene estable durante todo el trayecto dentro de la línea de corriente respectiva (entre ambos, el Boro presenta una dilución más intensa de su concentración respecto de Fluoruros). Sin embargo, la mezcla del Manganeso muestra una intensidad estable intermedia para la línea de corriente aguas abajo. Esto se podría dar debido a que la diferencia de concentraciones entre el río receptor y el río que se incorpora es mayor para Boro y Fluoruros, respecto del manganeso (de la tabla 39, la concentración de CAP-3 respecto de COS-2 para Fluoruros, Boro y Manganeso es 800 por ciento, 9697 por ciento y casi 400 por ciento más respectivamente), lo que genera un cambio brusco con tendencia a la disminución de la concentración. Además de ello, algo que es resaltante en las 3 figuras mencionadas es que, una vez que la concentración se mantiene estable aguas abajo, todas ellas muestran un valor diferente de acuerdo a la línea de corriente que sigue el agua. La variación de la concentración obtenida con el modelo representa a la línea de corriente más cercano al borde de mezcla (lado izquierdo considerando una mirada hacia aguas abajo a 0.1 m del borde), mostrando en el borde opuesto una concentración diferente. Para ilustrar esta diferencia, podemos observar que, para Fluoruros, en el borde izquierdo obtenemos una concentración acumulada de 0.364 mg/L mientras que el borde derecho se muestra la concentración mínima acumulada de 0.244 mg/L; respecto a Boro, 0.964 mg/L frente a 0.555 mg/L y; respecto al manganeso, 0.148 mg/L frente a 0.100 mg/L. Esto se debe a las condiciones proporcionadas al modelo. A pesar de incluir en el modelo que, las características del cuerpo receptor presentan meandros, no es suficiente para cubrir con las características reales del río Tumilaca. Por ejemplo, en el modelo se considera un ancho de

río constante de 7 metros durante todo el trayendo aguas abajo, cuando realmente el cauce oscila a medida que sigue la trayectoria del río. Al variar el área transversal, también varía el caudal, generándose una mezcla más completa del cuerpo de agua.

Sin embargo, si se considerase la concentración mínima ofrecida por la simulación en el flujo de agua más cercano al borde derecho, también se muestra valores mayores a los monitoreados en campo: Boro 0.555 frente a 0.247 mg/L (124.70 por ciento mayor), Manganeso 0.100 frente a 0.090 mg/L (11.11 por ciento mayor) y Fluoruros 0.244 frente a 0.193 mg/L (26.42 por ciento mayor). En base a estos resultados, es evidente que no se está considerando un proceso determinante dentro del flujo de agua que genera que disminuya la concentración y por consiguiente no sea de característica conservativa. Este podría estar directamente relacionado con la interacción de los parámetros con las partículas del suelo, que podrían a través de algún mecanismo físico o químico, generar una disminución del contaminante en discusión.

Finalmente, es importante mencionar que, si bien el modelo Cormix 1 tiene limitaciones para la simulación de un río influyendo sobre la calidad de otro dado que no se pueden controlar factores importantes que determinan las concentraciones, nos es útil para mostrar las variaciones de las concentraciones a lo largo del río aguas abajo, y así poder evaluar los límites de un posible riesgo ecotoxicológico, el cuál es mostrado en el siguiente capítulo.

4.5 Evaluación del Riesgo Ecotoxicológico

Se tomó a especies acuáticas que podrían evidenciar referencias de ello y, por consecuencia, verse potencialmente afectadas por la influencia de río Huancanane al confluir con el río Coscore. Cumpliendo con la metodología establecida, a continuación, se procede a mostrar los resultados obtenidos:

- ❖ Evaluación de efectos (PNEC): Este valor se determina a través de bioensayos con especies sensibles a concentraciones umbral por parte del cuerpo de agua. Como menciona la revisión bibliográfica, se busca el valor de concentración que asegure la no afectación de la actividad y funcionamiento de los organismos locales. Este dato se estimó en conjunto, a partir del conocimiento de la línea base biológica de la zona, levantada para el IV Modificación de Estudio de Impacto Ambiental de Quellaveco. Así, se seleccionó al *Oncorhynchus Mykiss* (Trucha arco iris) y *Daphnia Magna*. Conociendo las especies locales, se procedió a recopilar información sobre ensayos

toxicológicos con los parámetros críticos modelados con Cormix en el punto anterior. Así, en la Tabla 32, se muestra la información obtenida.

Tabla 32. CL50 de estudios previos.

Parámetros	Especie	Concentración Letal
		Media CL50
Boro	Oncorhynchus Mykiss	105.19 mg/L (96h) ¹
	Daphnia Magna	133 mg/L (48h) ⁶
Manganeso	Oncorhynchus Mykiss	4.80 mg/L (96h) ⁴
	Daphnia Magna	1.87 mg/L (48h) ²
Fluoruro	Oncorhynchus Mykiss	51 mg/L (96h) ³
	Daphnia Magna	251 mg/L (48h) ⁵

FUENTE: Rivera Hoyos y Molina Trujillo (2011)¹, Dávila Sulbarán & Rincón Velásquez (2009)², Ministry of the Environment, Government of Japan (S.F.)³, Davies y Brinkman (1994)⁴, Fieser., Sykora, Kostalos, Wu y Weyel, (1986)⁵, Gersich, F. M. (1984)⁶

Seguidamente, se colocó el factor de valoración. Según la revisión bibliográfica, el factor de valoración para datos de toxicidad a corto plazo CL50 es 1000. Sin embargo, cuando la liberación elevada del contaminante es intermitente, se toma 100. En concordancia con la data histórica obtenida, se evidencia que para el río Huacanáne, los altos niveles de Boro y Fluoruros son constantes. Sin embargo, los niveles de Manganeso no muestran la misma constancia. Por ello, se tomó como factor de valoración para el manganeso de 100 y para los demás, de 1000. Finalmente, se obtuvo el PNEC según la siguiente Tabla.

Tabla 33. Datos PNEC obtenidos (valor superior para Oncorhynchus Mykiss e inferior para Daphnia Magna).

Parámetro	FV	PNEC
Boro	1000	0.1052
		0.1330
Manganeso	100	0.4800
		0.1870
Fluoruro	1000	0.0510
		0.2510

FUENTE: Elaboración Propia

- ❖ Estimación de la exposición (PEC): En este punto se procedió a extraer la información modelada a distintos puntos aguas debajo de los puntos de confluencia. También se incluyó información real aguas abajo a 1680 metros en dos etapas: en primer lugar, tomada en campo en la misma fecha que la información utilizada en modelo del capítulo anterior, con el fin de realizar la comparación respectiva; en segundo lugar, información promedio por temporada húmeda, seca y global del 2018 y 2019, con el fin de evaluar si existe riesgo ecotoxicológico permanente en la zona de estudio. En la siguiente tabla, se extraen los valores modelados.

Tabla 34. Datos PEC obtenidos del modelo CORMIX 1.

Distancia Aguas Abajo (m)	PEC		
	Boro	Manganeso	Fluoruros
1	3.855	0.332	1.034
80	1.865	0.205	0.69
160	1.415	0.1768	0.574
240	1.195	0.1624	0.511
320	1.052	0.1534	0.469
400	0.964	0.1478	0.44
480	0.964	0.1478	0.417
560	0.964	0.1478	0.399
640	0.964	0.1478	0.385
720	0.964	0.1478	0.372
800	0.964	0.1478	0.364
880	0.964	0.1478	0.364

FUENTE: Elaboración Propia

Tabla 35. Datos PEC reales tomados en la zona de confluencia el 27 de abril de 2019.

Distancia a 1680 metros aguas abajo	PEC		
	Boro	Manganeso	Fluoruros
(TUM-3)	0.247	0.090	0.193

FUENTE: Elaboración Propia

Tabla 36. Datos PEC reales promedios tomados en la zona de confluencia 2018-2019.
PMH: promedio mensual temporada húmeda, PMS: promedio mensual temporada
seca, PM: promedio anual

Distancia a 1680 metros aguas abajo	PEC		
	Boro	Manganeso	Fluoruros
TUM-3 – PMH	0.193	0.147	0.209
TUM-3 – PMS	0.159	0.053	0.164
TUM-3 – PM	0.152	0.083	0.179

FUENTE: Elaboración Propia

- ❖ Cuantificación del riesgo: Este riesgo se evalúa a partir de la relación de los parámetros calculados en los dos puntos anteriores

Tabla 37. Riesgo ambiental obtenido con información base del modelo CORMIX 1.
(valor superior para Oncorhynchus Mykiss e inferior para Daphnia Magna)

Distancia Aguas Abajo (m)	PEC/PNEC		
	Boro	Manganeso	Fluoruros
1	36.644	0.692	20.275
	28.985	1.775	4.120
80	17.728	0.427	13.529
	14.023	1.096	2.749
160	13.451	0.368	11.255
	10.639	0.945	2.287
240	11.359	0.338	10.020
	8.985	0.868	2.036
320	10.000	0.320	9.196
	7.910	0.820	1.869
400	9.163	0.308	8.627
	7.248	0.790	1.753
480	9.163	0.308	8.176
	7.248	0.790	1.661
560	9.163	0.308	7.824
	7.248	0.790	1.590
640	9.163	0.308	7.549
	7.248	0.790	1.534
720	9.163	0.308	7.294
	7.248	0.790	1.482
800	9.163	0.308	7.137
	7.248	0.790	1.450
880	9.163	0.308	7.137
	7.248	0.790	1.450

FUENTE: Elaboración Propia

Tabla 38. Riesgo ambiental obtenido de datos de campo reales tomados en la zona de confluencia el 27 de abril de 2019. (valor superior para *Oncorhynchus Mykiss* e inferior para *Daphnia Magna*)

Distancia Aguas Abajo (m)	PEC/PNEC		
	Boro	Manganeso	Fluoruros
1680 (TUM-3)	2.348	0.188	3.164
	1.857	0.481	0.769

FUENTE: Elaboración Propia

Tabla 39. Riesgo ambiental obtenido de datos de campo reales tomados en la zona de confluencia 2018-2019. PMH: promedio mensual temporada húmeda, PMS: promedio mensual temporada seca, PM: promedio anual. (valor superior para *Oncorhynchus Mykiss* e inferior para *Daphnia Magna*)

Distancia a 1680 metros aguas abajo	PEC/PNEC		
	Boro	Manganeso	Fluoruros
TUM-3 – PMH	1.835	0.306	3.426
	1.451	0.786	0.833
TUM-3 – PMS	1.511	0.110	2.689
	1.195	0.283	0.653
TUM-3 – PM	1.455	0.173	2.934
	1.143	0.444	0.713

FUENTE: Elaboración Propia

Respecto a lo referido en la revisión bibliográfica, si esta relación es menor o igual a 1 ($PEC/PNEC < 1$), se considera que la sustancia es de bajo riesgo y de lo contrario, si esta relación es mayor a 1 ($PEC/PNEC > 1$), se considera un riesgo ambiental que va aumentando conforme mayor es esta relación. En casi todos los cuadros presentados, la categoría del valor obtenido es coincidente para ambas especies de estudio, por lo que podemos inferir que, de coincidir en una calificación de toxicidad de riesgo alto para ambas, es probable que sea un nivel tóxico para las demás especies que habitan cerca a este punto de confluencia. Así, podemos observar que las concentraciones modeladas para los parámetros considerados son de riesgo alto para ambas especies dentro de los primeros 160 metros aguas abajo del punto de confluencia, excepto solo para *Daphnia Magna*, que no resulta con un nivel de riesgo alto con respecto solo al manganeso. Después de los primeros 160 metros, para ambas especies, se mantiene con un nivel de riesgo alto los parámetros Boro y Fluoruros, aguas abajo, mientras que el Manganeso muestra un Riesgo Aceptable. Además, respecto a la

comparación con los datos reales tomados aguas abajo a 1600 m, en el punto TUM-3, se observa tendencias similares a la información obtenida del modelo, en el que el riesgo es alto para Boro y Fluoruros y aceptable para manganeso, para ambas especies y en todas las temporadas registradas, con excepción de la *Daphnia Magna*, que parece mostrar una mayor tolerancia a los altos niveles de fluoruros, y que por consiguiente, solo para esta especie muestra un nivel de riesgo aceptable.

Es importante mencionar que los datos modelados proyectan un nivel por encima de lo monitoreado aguas abajo. Esto se debería a las condiciones y supuestos asumidos al correr el modelo. Como se mencionó en el capítulo, es evidente que hay factores que interactúan adicionalmente y generan que las concentraciones reales se muestren menores a las tomadas. Sin embargo, también se evidencia en este capítulo que, por más que interactúen estos factores y se aminoren las concentraciones de algunos parámetros, la tendencia persiste y se muestra el riesgo alto de Boro y Fluoruros, por lo que debe considerarse este aspecto en el manejo hídrico de las aguas en la zona.

4.6 Análisis Estadístico: Coeficientes de Correlación de Pearson y Análisis por

Componentes Principales

Este análisis se realizó para evaluar la solidez de la información trabajada durante la presente investigación, y también para obtener alguna información adicional a través de las relaciones estadísticas entre los datos. Para ello, se realizó un análisis estadístico multivariable: Análisis por Componentes Principales (ACP), previa realización de la matriz de correlaciones de Pearson y el test KMO. El fin de aplicar este análisis factorial es la evaluación de las correlaciones entre datos, por medio de la reducción de variables sin perder información a través de la agrupación de parámetros que varían conjuntamente de forma lineal. De la misma forma a la que se ha venido trabajando los capítulos anteriores, se procedió a analizar los puntos aguas arriba y dentro de la zona de confluencia.

❖ Aguas Arriba de COS-2 y CAP-3

Respecto a la calidad aguas arriba del río Coscore, P-12 y CH-3, y aguas arriba del río Huacanane, CAP-1 y CAP-2, luego del tratamiento previo, con las consideraciones mencionadas en la metodología, se obtuvo la tabla siguiente.

Tabla 40. Numero de parámetros a considerar en puntos de monitoreo aguas arriba.

Punto de Monitoreo	Parámetros Considerados
P-12	43
CH-3	39
CAP-1	41
CAP-2	44

FUENTE: *Elaboración Propia*

Luego de ello, se procedió a obtener la Tabla de correlaciones de Pearson. Dada la gran cantidad de datos, a continuación, se menciona las correlaciones más altas entre variables, por cada punto de monitoreo.

P-12:

El caudal presenta correlación positiva con STS, Nitratos, Aluminio, Bario, Cobalto, Cobre, Hierro, Magnesio, Manganeso y Titanio. A su vez la Alcalinidad Total presenta una correlación negativa con los sulfatos y Níquel. El Cloro y el Boro muestran una alta correlación. También el Aluminio con Hierro, Manganeso y Titanio. El Bario muestra alta correlación con los STS, Aluminio, Cobre, Hierro, Manganeso y Titanio. Finalmente, el Magnesio y Manganeso presentan correlación con los mismos parámetros: Dureza Total, Aluminio, Bario, Cobre, Estroncio y Hierro.

CH-3:

La Conductividad presenta correlación positiva con el Arsénico y Molibdeno. Los STS presentan correlación alta con Aluminio, Bario, Cobre, Hierro, Manganeso y Titanio. Los Sulfatos presentan correlación con Cloruros, el Aluminio con los STS, Bario, Cobre, Titanio, y una correlación muy alta con el Hierro y Manganeso. El Cobre presenta alta correlación con los STS, Aluminio, Bario, Hierro, Manganeso y Titanio. Finalmente, el Potasio y Silicio presentan ambos correlación con los STS, Aluminio, Bario, Cobre, Fósforo, Hierro, Manganeso y Titanio.

CAP-1:

El caudal está altamente correlacionado positivamente con la mayor parte de variables como la dureza total, STD, STS, metales pesados, entre otros. A su vez, la dureza total, los STD y STS están correlacionados positivamente con algunos metales como Aluminio, Arsénico, Bario, Cobre, Cobalto, etc.; mostrando coeficientes de correlación de hasta 0.999 respecto a

algunos metales. Por otro lado, el Aluminio, Arsénico, Bario, Cobalto, Cobre, Cromo, entre otros metales estuvieron muy relacionados con otros metales entre sí.

CAP-2:

A diferencia del punto anterior, el Caudal presenta una correlación negativa con la Conductividad, pH, Alcalinidad, Dureza, Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Boro, Calcio, Litio y Sodio; y, por el contrario, presenta alta correlación positiva con Antimonio y Zinc. Por otro lado, se mantiene la tendencia del punto anterior, que correlaciona a la dureza total, los STD y STS positivamente con Cloruros y Fluoruros, Sulfatos, Boro, Calcio, Litio y Sodio. Respecto a metales, el Hierro presenta mayores correlaciones con otros parámetros como STS, Aluminio, Cobalto, Niquel, Cobalto, entre otros.

Luego de ello, y continuando con la metodología explicada, se procedió a realizar el test KMO. Los resultados se muestran a continuación en la tabla siguiente.

Tabla 41. Resultados del Test KMO para los puntos de monitoreo correspondiente.

Estaciones	Test KMO	Valoración	Aplicación
P-12	0.462	Inaceptable	Inadecuada
CH-3	0.562	Bajo	Adecuada
CAP-1	0.760	Mediano	Adecuada
CAP-2	0.566	Bajo	Adecuada

FUENTE: Elaboración Propia

Así, se obtiene que la prueba es adecuada para todos los puntos considerados, excepto el punto P-12. Este resultado nos indica que, para este punto, no es adecuado aplicar un análisis factorial; es decir, que no es estadísticamente posible que al agrupar las variables (parámetros) conocidos en nuevas variables, se pueda explicar la variación de un porcentaje del grupo de datos, de forma representativa y significativa. El motivo sería la propia inexistencia de este factor determinante que genere la variación del grupo de datos y que, independientemente, los parámetros varíen debido a otros factores propios de menor influencia.

Continuando, se procedió a obtener los resultados de la prueba factorial seleccionada Análisis por Componentes Principales. Se muestra la tabla de valores propios de los puntos en mención.

Tabla 42. Valores propios CH-3.

	F1	F2	F3
Valor propio	10.565	5.104	3.099
Variabilidad (%)	27.090	13.087	7.946
% acumulado	27.090	40.177	48.123

FUENTE: Elaboración Propia

Tabla 43. Valores propios CAP-1.

	F1	F2	F3
Valor propio	21.565	3.332	2.418
Variabilidad (%)	52.598	8.127	5.897
% acumulado	52.598	60.725	66.621

FUENTE: Elaboración Propia

Tabla 44. Valores propios CAP-2

	F1	F2	F3
Valor propio	13.719	6.165	2.926
Variabilidad (%)	31.179	14.012	6.650
% acumulado	31.179	45.191	51.841

FUENTE: Elaboración Propia

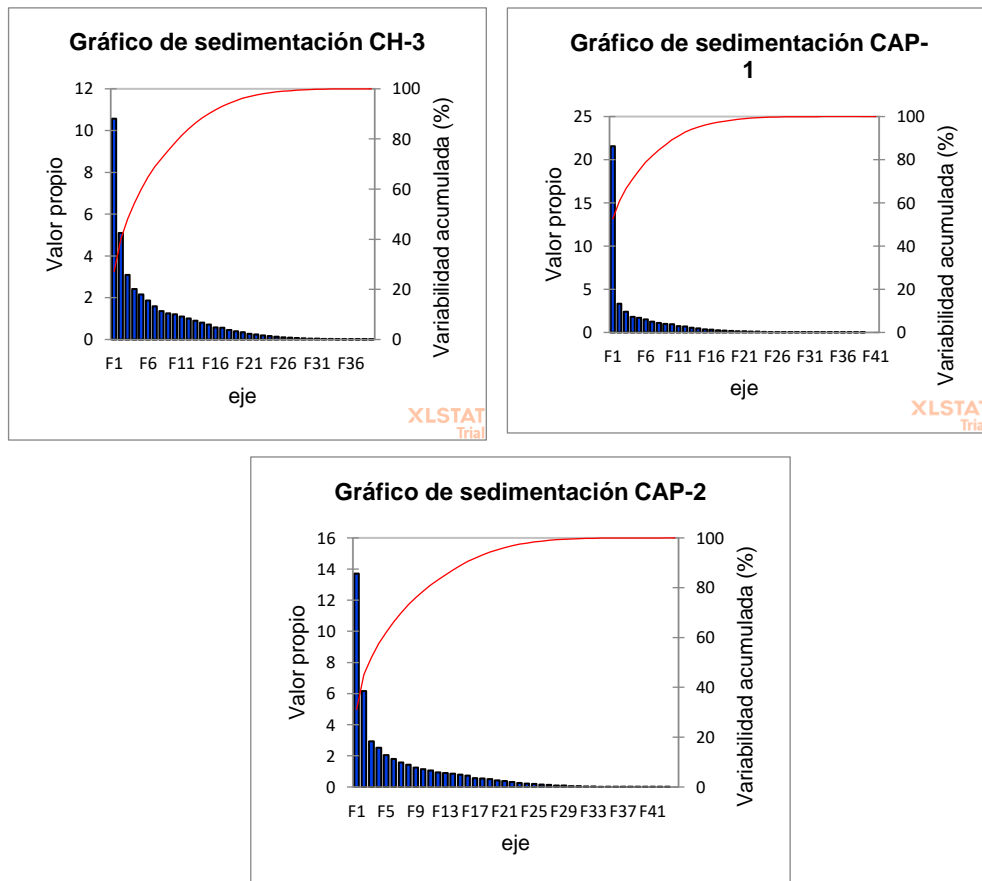


Figura 72. Gráficos obtenidos de CH-3, CAP-1 y CAP-2. FUENTE: Elaboración Propia

Serrano (2003) menciona que es imposible cuantificar la totalidad de variables que intervienen en la naturaleza de estos gráficos. Sin embargo, en caso las variables contengan altas correlaciones positivas o negativas, los 2 o 3 primeros componentes explican la mayor parte de información contenida en todas las variables. Además, agrega que, para estudios medioambientales, por su naturaleza, los dos primeros componentes no explican más del 55-60 por ciento, lo que se puede considerar suficiente para obtener información válida. En este sentido, se observó la tabla de valores propios y se obtuvo que la correlación no es la esperada (alta). Sin embargo, se observa que, tomando los 3 primeros componentes en cada punto, se obtiene una variabilidad que bordea y supera el 50 por ciento, yendo acorde con lo planteado por el autor. De esta manera, el análisis abarcará los 3 primeros componentes en cada punto de monitoreo. La diferencia de variabilidad entre los componentes en CH-3 y CAP-2 es similar. Sin embargo, CAP-1 muestra una variabilidad alta en el primer factor, siendo mayor al 50 por ciento y el segundo siendo mucho menor, alrededor del 8 por ciento. Finalmente, tomando los 3 primeros componentes del análisis en cada caso, se obtiene que se explica el 48 por ciento de la variabilidad de los datos para CH-3, el 66 por ciento en CAP-1 y el 52 por ciento en CAP-2.

Descrito el punto correspondiente a los valores propios, se procede a interpretar la información obtenida de los componentes mencionados. La Tabla 38, 39 y 40 muestra la correlación entre componentes obtenidos y variables trabajadas en la presente investigación.

Tabla 45. Correlación entre componentes y variables CH-3.

	F1	F2	F3
Caudal	0.164	-0.158	-0.175
Conductividad	0.102	0.824	-0.120
Oxígeno Disuelto.	0.062	0.436	-0.010
pH (Campo)	-0.184	-0.401	-0.233
Temperatura	-0.048	-0.514	0.223
Alcalinidad Total	-0.539	-0.159	0.039
Dureza Total	0.393	-0.137	0.633
Sólidos Totales Disueltos	0.175	0.329	0.112
Sólidos Totales Suspendedos	0.874	-0.248	-0.313
Fósforo Reactivo Disuelto	0.190	0.687	0.287
Cloruros, Cl-	0.308	0.122	0.709

FUENTE: Elaboración Propia

Continuación ...

Fluoruros, F-	0.004	0.036	0.144
Nitratos, (como N)	0.629	0.118	0.200
Sulfatos, SO ₄ -2	0.295	0.177	0.623
Aluminio (Al)	0.945	-0.228	-0.172
Arsénico (As)	0.272	0.749	-0.046
Bario (Ba)	0.952	-0.234	-0.120
Boro (B)	-0.219	-0.092	0.535
Calcio (Ca)	0.584	-0.104	0.041
Cobalto (Co)	0.461	-0.011	0.346
Cobre (Cu)	0.902	-0.229	-0.217
Cromo (Cr)	0.105	0.677	-0.239
Estaño (Sn)	0.048	0.554	-0.324
Estroncio (Sr)	0.832	-0.167	0.148
Fosforo (P)	0.604	0.391	-0.373
Hierro (Fe)	0.950	-0.224	-0.153
Magnesio (Mg)	0.335	-0.180	0.273
Manganeso (Mn)	0.955	-0.210	-0.131
Molibdeno (Mo)	0.193	0.746	-0.080
Niquel (Ni)	0.330	0.113	0.407
Plata (Ag)	-0.081	-0.106	-0.050
Plomo (Pb)	0.453	0.094	0.458
Potasio (K)	0.727	0.283	0.099
Silicio (Si)	0.732	0.159	-0.172
Sodio (Na)	0.065	0.093	0.124
Talio (Tl)	0.032	0.418	0.028
Titanio (Ti)	0.950	-0.213	-0.113
Vanadio (V)	0.024	0.501	0.040
Zinc (Zn)	0.134	0.223	0.109

FUENTE: Elaboración Propia

El primer factor explica alrededor del 27 por ciento de la variabilidad total por sí mismo, y en los cuales está correlacionado el STS con aluminio, bario, calcio, cobre, hierro y manganeso. Estos minerales suelen provenir desde el suelo. Sin embargo, no están

relacionados con el caudal, por lo que lo asociamos con erosión de material en las riberas del río. El segundo factor explica el 13 por ciento de la variabilidad total del grupo y se observa correlación en una especie de Fosforo, Arsénico y Cromo, los cuales están relacionados con la actividad humana, por lo que este factor podría estar influenciado por el ingreso de aguas residuales. El tercer factor explica casi el 8 por ciento de la variabilidad total y está relacionado con los sulfatos, sin embargo, no muestra asociación con calcio, sodio o magnesio. Por el contrario, sí se muestra una relación con cloruros y boro, por lo que todo lo podemos asociar, en líneas generales, a procesos de meteorización. Debido al bajo nivel de significancia para este punto, y a la baja concentración en general de los parámetros, a medida que se evalúan los factores con menores porcentajes de variabilidad, se justifica las dificultades de interpretación por la baja significancia obtenida

Tabla 46. Correlación entre componentes y variables CAP-1.

	F1	F2	F3
Caudal	0.801	-0.440	-0.112
Conductividad	-0.070	-0.120	0.602
Oxígeno Disuelto.	-0.002	-0.191	0.419
pH (Campo)	-0.154	0.394	-0.208
Temperatura	-0.167	0.309	-0.120
Alcalinidad Total	-0.148	0.817	0.131
Dureza Total	0.902	0.287	0.212
Sólidos Totales Disueltos	0.970	0.080	0.073
Sólidos Totales Suspendedos	0.987	0.095	-0.035
Fósforo Reactivo Disuelto	-0.037	-0.228	0.418
Cloruros, Cl-	-0.042	-0.269	0.291
Fluoruros, F-	-0.125	0.513	0.007
Nitratos, (como N)	0.506	-0.554	-0.124
Sulfatos, SO ₄ -2	-0.086	-0.573	0.554
Aluminio (Al)	0.990	0.032	-0.044
Antimonio (Sb)	-0.035	0.199	-0.159
Arsénico (As)	0.989	-0.020	-0.047
Bario (Ba)	0.989	0.075	-0.015

FUENTE: Elaboración Propia

Continuación ...

Boro (B)	0.015	0.376	0.072
Calcio (Ca)	0.326	0.378	0.571
Cobalto (Co)	0.985	0.109	-0.024
Cobre (Cu)	0.984	0.114	-0.025
Cromo (Cr)	0.903	-0.247	-0.096
Estaño (Sn)	0.054	-0.410	-0.288
Estroncio (Sr)	0.471	0.100	0.534
Fosforo (P)	0.883	0.076	-0.001
Hierro (Fe)	0.992	0.053	-0.041
Litio (Li)	0.979	0.118	-0.018
Magnesio (Mg)	0.955	0.189	0.152
Manganeso (Mn)	0.990	0.082	-0.031
Molibdeno (Mo)	0.962	0.126	-0.044
Niquel (Ni)	0.929	0.159	-0.080
Plomo (Pb)	0.936	-0.209	-0.103
Potasio (K)	0.860	-0.057	0.072
Selenio (Se)	-0.022	-0.009	0.266
Silicio (Si)	0.934	0.027	0.128
Sodio (Na)	-0.426	0.214	0.515
Titanio (Ti)	0.992	0.028	-0.045
Uranio (U)	0.964	0.100	-0.012
Vanadio (V)	0.768	-0.229	0.032
Zinc (Zn)	0.482	-0.436	0.118

FUENTE: Elaboración Propia

El primer factor explica alrededor del 53 por ciento de la variabilidad total por sí mismo, y en los cuales está relacionado el Caudal, Dureza, STS, STD, Nitratos, y gran parte de metales totales. La alta correlación con el caudal, junto con la relación con la gran cantidad de parámetros nos sugiere que el 53 por ciento de la variabilidad de este grupo de datos está asociado con las precipitaciones que generan la escorrentía del suelo, lo que arrastra todos estos parámetros. Este factor explica su mayor grado de significancia y aceptación en el test KMO, dado que la variabilidad se puede explicar fácilmente. El segundo factor está

correlacionado con la Alcalinidad Total y los Fluoruros, y negativamente con el caudal, los cuales explican alrededor del 8 por ciento de la variabilidad total, y se asocian directamente a la incorporación de aguas subterráneas, las cuales tienen mayor presencia en temporadas secas. El tercer factor explica casi el 6 por ciento de la variabilidad total y están correlacionados la Conductividad, Sulfatos, Calcio, y Sodio, por lo que se relaciona con la disolución de sales.

Tabla 47. Correlación entre componentes y variables CAP-2

	F1	F2	F3
Caudal	-0.661	-0.331	0.543
Conductividad	0.901	0.307	0.083
Oxígeno Disuelto.	0.353	-0.033	0.262
pH (Campo)	0.467	0.214	-0.424
Temperatura	-0.045	0.129	0.014
Alcalinidad Total	0.704	0.219	-0.093
Dureza Total	0.903	0.313	0.131
Sólidos Totales Disueltos	0.911	0.316	0.131
Sólidos Totales			
Suspendidos	-0.573	0.785	-0.086
Bromuro, Br-	0.451	0.191	0.210
Cloruros, Cl-	0.895	0.304	0.140
Fluoruros, F-	0.853	0.158	-0.088
Nitratos, (como N)	-0.212	-0.112	-0.169
Nitritos, (como N)	-0.492	0.822	-0.158
Sulfatos, SO ₄ -2	0.913	0.298	0.127
Aluminio (Al)	-0.756	0.588	0.029
Antimonio (Sb)	-0.421	-0.054	0.675
Arsénico (As)	-0.155	0.487	-0.034
Bario (Ba)	0.294	0.555	-0.120
Berilio (Be)	-0.039	-0.081	-0.111
Bismuto (Bi)	0.089	0.039	0.122
Boro (B)	0.822	0.293	0.163
Calcio (Ca)	0.900	0.310	0.102

FUENTE: Elaboración Propia

Continuación ...

Cobalto (Co)	-0.548	0.793	-0.152
Cobre (Cu)	-0.170	0.266	-0.176
Cromo (Cr)	0.015	0.016	0.181
Estaño (Sn)	0.031	0.069	0.423
Estroncio (Sr)	0.059	0.025	0.023
Fosforo (P)	-0.152	0.223	0.179
Hierro (Fe)	-0.672	0.718	-0.003
Litio (Li)	0.782	0.337	0.156
Magnesio (Mg)	-0.102	-0.193	-0.356
Manganeso (Mn)	-0.677	0.247	-0.097
Molibdeno (Mo)	0.537	0.269	0.185
Niquel (Ni)	-0.288	0.761	-0.091
Plomo (Pb)	-0.608	-0.007	0.480
Potasio (K)	-0.106	-0.193	-0.358
Selenio (Se)	-0.089	-0.094	-0.192
Silicio (Si)	-0.393	0.542	-0.050
Sodio (Na)	0.900	0.280	0.109
Talio (Tl)	0.134	0.122	0.220
Titanio (Ti)	-0.730	0.639	0.047
Vanadio (V)	-0.392	0.202	0.556
Zinc (Zn)	-0.367	0.056	0.615

FUENTE: Elaboración Propia

El primer factor explica alrededor del 31 por ciento de la variabilidad total por sí mismo, y en los cuales está correlacionado el Conductividad, Alcalinidad, STD, Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Boro, Calcio y Sodio. El grupo de cloruros, fluoruros y boro junto con la correlación negativa del caudal justifican lo explicado en el capítulo de hidroquímica, en el que se planteó la posible influencia de las aguas de subterráneas con un alto tiempo de contacto con material madre volcánico. A este grupo también se asocia el alto nivel de calcio y sodio, por la interacción agua-roca. La correlación negativa del hierro, plomo, cobalto, titanio y aluminio nos sugiere la poca influencia de la escorrentía del suelo en este punto. Adicionalmente, el manganeso, que se había asociado en el mencionado capítulo a las aguas subterráneas, sigue una correlación negativa en este factor, por lo que se evidencia que las

aguas subterráneas no serían la fuente principal de manganeso, sino que también estaría correlacionado por la escorrentía del suelo. El segundo factor está correlacionado con los STS, Nitrito, Cobalto, Hierro y Niquel en mayor medida, los cuales explican alrededor del 14 por ciento de la variabilidad total. Este factor podría explicarse por la zona de riego cercana al punto. Podría deberse al agua residual de riego que acumula nitritos de abono y que antes de incorporarse al suelo, arrastra los hierro, aluminio y silicio. El tercer factor está correlacionado con el Caudal, Antimonio, Vanadio y Zinc. Lo resaltante de este factor es que a medida que el caudal aumenta, se pierde la correlación con los parámetros marcadores del agua subterránea. Este factor de época de lluvia solo explica el 7 por ciento de la variabilidad total de los datos y puede estar relacionado con escorrentía de suelos mineralizados.

❖ Zona de Confluencia

En segundo lugar, y al igual que los ítems anteriores, se evaluó temporalmente la calidad del agua superficial de la cuenca en los 3 puntos directamente relacionados al punto de confluencia del río Coscore y el río Huacanane. Luego del tratamiento previo, se obtuvo la información mostrada en la Tabla 34.

Tabla 48. Numero de parámetros a considerar en puntos de monitoreo zona de confluencia.

Punto de Monitoreo	Parámetros Considerados
COS-2	48
CAP-3	50
TUM-3	42

FUENTE: *Elaboración Propia*

Además, al igual que el punto anterior, se procedió a obtener la tabla de correlaciones de Pearson. Dada la gran cantidad de datos, a continuación, se menciona las correlaciones más altas entre variables, por cada punto de monitoreo

COS-2:

El caudal presenta una correlación positiva alta con el Aluminio, Cobalto y Plomo. Por otro lado, los STD presentan una correlación negativa alta con los Cloruros. Los STS presenta alta correlación positiva con el Aluminio, Arsénico, Bario, Cobalto, Cobre, Fósforo, Manganeso, Plomo, Potasio, Titanio y Vanadio. Finalmente, y al igual que el punto anterior,

los metales pesados se correlacionan variadamente con la mayor parte de los metales, por lo que la influencia de los mismos y sus relaciones se podrán dilucidar en la siguiente prueba estadística.

CAP-3:

El caudal presenta correlación negativa con el pH, y positivamente con los STS, Nitratos, Nitritos, Coliformes Totales y algunos metales como el Aluminio, Cobalto, Cromo, Cobre, Fósforo, Hierro, Plomo, Silicio, Titanio, Plomo y Vanadio. A su vez, la Conductividad se correlaciona positivamente con la Alcalinidad, Dureza Total y STD, Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Boro, Calcio, entre otros metales. La Dureza, STS y STD presentan en conjunto una alta correlación positiva con los Cloruros, Sulfatos, Boro, Calcio, Estroncio, Litio, Magnesio, Molibdeno, Sodio y Uranio. Los Cloruros y Fluoruros presentan correlación positiva alta con la Conductividad, Dureza Total, Sulfatos, Boro, Calcio, Estroncio, Litio, Magnesio, Molibdeno, Sodio y Uranio. En general, los metales en este punto presentan una gran cantidad de correlaciones los demás parámetros, por lo que la influencia de los mismos y sus relaciones se podrán dilucidar en la siguiente prueba estadística.

TUM-3:

El Caudal presenta una correlación positiva alta con los STS, Aluminio, Bario, Cobalto, Hierro, Plomo, Titanio y Vanadio. La Conductividad con la Dureza Total, STD, Cloruros, Boro, Calcio, Estroncio y Sodio. Finalmente, y al igual que el punto anterior, los parámetros restantes se correlacionan variadamente con la mayor parte de los metales, por lo que la influencia de los mismos y sus relaciones se podrán dilucidar en la siguiente prueba estadística.

Luego de ello, y continuando con la metodología explicada, se procedió a realizar el test KMO. Los resultados se muestran a continuación en la Tabla 35.

Tabla 49. Resultados del Test KMO para los puntos de monitoreo correspondiente.

Estaciones	Test KMO	Valoración	Aplicación
COS-2	0.473	Inaceptable	Inadecuada
CAP-3	0.644	Regular	Adecuada
TUM-3	0.625	Regular	Adecuada

FUENTE: *Elaboración Propia*

Se obtiene que la prueba es adecuada para todos los puntos considerados, excepto el punto COS-2. Esta información corrobora el análisis anterior, en el cual el punto P-12, que está ubicado en curso el río Asana, el mismo curso que el río Coscore, presenta la misma característica de aplicación inadecuada. En consecuencia, tampoco se aplicó un análisis factorial en este punto debido a que estadísticamente, no se puede explicar la variación de un porcentaje del grupo de datos, de forma representativa. Al igual que el análisis anterior, el motivo sería la propia no existencia de este factor determinante que genere la variación de gran parte del grupo total de datos y que, independientemente, los parámetros varíen debido a otros factores de menor jerarquía.

Continuando, se procedió a obtener los resultados de la prueba factorial seleccionada Análisis por Componentes Principales. Se muestra la tabla de valores propios de los puntos en mención.

Tabla 50. Valores Propios CAP-3.

	F1	F2
Valor propio	23.599	11.157
Variabilidad (%)	47.198	22.314
% acumulado	47.198	69.512

FUENTE: Elaboración Propia

Tabla 51. Valores Propios TUM-3.

	F1	F2
Valor propio	17.892	10.684
Variabilidad (%)	42.600	25.439
% acumulado	42.600	68.040

FUENTE: Elaboración Propia.

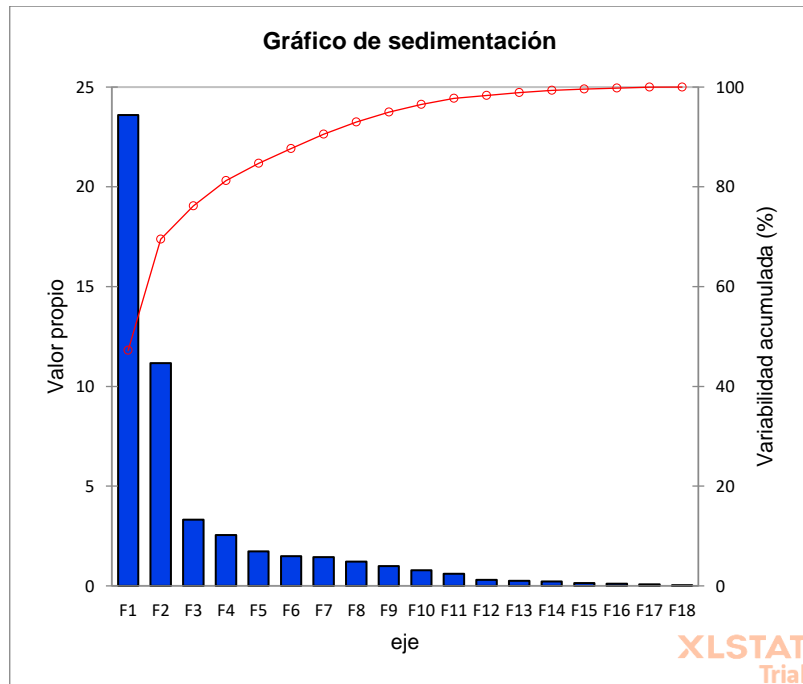


Figura 73. Gráficos obtenidos de CAP-3 y TUM-3. FUENTE: Elaboración Propia

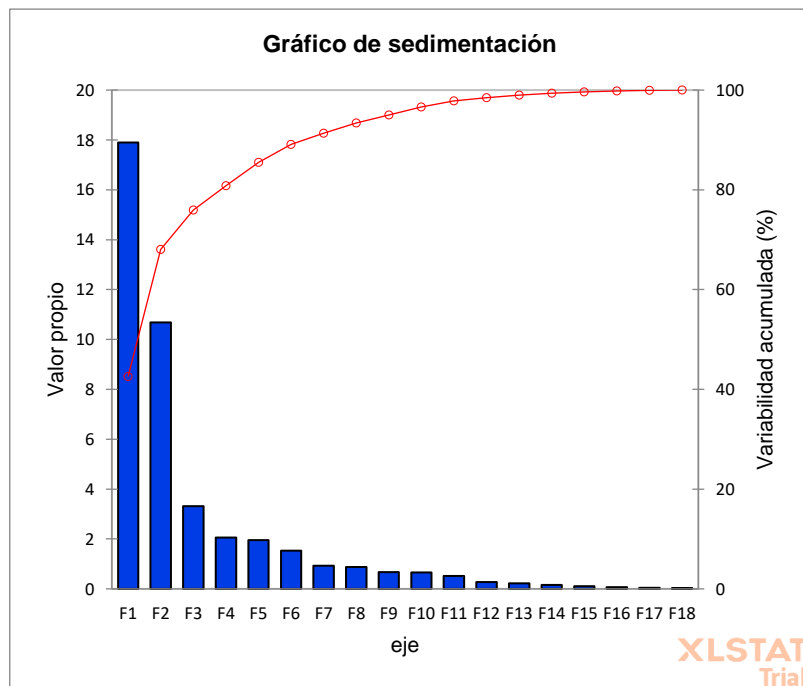


Figura 74 (continuación). Gráficos obtenidos de CAP-3 y TUM-3. FUENTE: Elaboración Propia

Se mencionó en el ítem anterior la investigación de Serrano (2003), la cual explica que en caso las variables contengan altas correlaciones positivas o negativas, los 2 o 3 primeros componentes explican la mayor parte de información contenida en todas las variables. Además, habíamos agregado que, para estudios medioambientales, por su naturaleza, los dos

primeros componentes no explican más del 55-60 por ciento, lo que se puede considerar suficiente para obtener información válida. En ese sentido, se observó la tabla de valores propios. En este caso la correlación sí es la esperada, y tomando los 2 primeros componentes en cada punto, se obtiene una variabilidad que supera en ambos casos el 68 por ciento de la variabilidad total, yendo acorde e incluso superando lo planteado por el autor. De esta manera, el análisis abarcará los 2 primeros componentes en cada punto de monitoreo. La diferencia de variabilidad entre los componentes en CAP-3 y TUM-3 es similar. Finalmente, tomando los 2 primeros componentes del análisis en cada caso, se obtiene que se explica el 69 por ciento de la variabilidad de los datos para CAP-3 y el 68 por ciento en TUM-3.

Tabla 52. Correlación entre componentes y variables CAP-3.

	F1	F2
Caudal	0.868	0.290
Conductividad	-0.847	0.516
Oxígeno Disuelto.	-0.018	0.003
pH (Campo)	-0.772	0.105
Temperatura	0.360	-0.014
Alcalinidad Total	-0.795	0.459
Dureza Total	-0.842	0.505
Sólidos Totales Disueltos	-0.787	0.526
Sólidos Totales Suspendidos	0.800	0.496
Sulfuros	-0.030	-0.223
Bromuro, Br-	-0.080	-0.004
Cloruros, Cl-	-0.796	0.568
Fluoruros, F-	-0.751	0.455
Nitratos, (como N)	0.680	0.543
Nitritos, (como N)	0.500	-0.033
Sulfatos, SO ₄ -2	-0.845	0.471
Demanda Química de Oxígeno	0.220	0.685
Detergentes Aniónicos	0.186	-0.280
Coliformes Fecales	0.774	0.193
Coliformes Totales	0.871	0.459

FUENTE: Elaboración Propia.

Continuación ...

Aluminio (Al)	0.902	0.409
Antimonio (Sb)	0.499	0.412
Arsénico (As)	-0.260	0.652
Bario (Ba)	0.064	0.954
Berilio (Be)	0.677	0.607
Boro (B)	-0.813	0.536
Cadmio (Cd)	-0.318	0.346
Calcio (Ca)	-0.840	0.522
Cobalto (Co)	0.874	0.474
Cobre (Cu)	0.910	0.308
Cromo (Cr)	0.568	0.641
Estaño (Sn)	-0.315	0.454
Estroncio (Sr)	-0.842	0.511
Fosforo (P)	0.837	0.497
Hierro (Fe)	0.882	0.449
Litio (Li)	-0.831	0.460
Magnesio (Mg)	-0.847	0.456
Manganeso (Mn)	0.372	0.555
Molibdeno (Mo)	-0.711	0.342
Niquel (Ni)	0.739	0.445
Plomo (Pb)	0.871	0.461
Potasio (K)	-0.355	0.747
Selenio (Se)	0.231	0.568
Silicio (Si)	0.800	0.476
Sodio (Na)	-0.831	0.535
Talio (Tl)	-0.315	0.454
Titanio (Ti)	0.892	0.427
Uranio (U)	-0.760	0.528
Vanadio (V)	0.896	0.398
Zinc (Zn)	0.568	0.272

FUENTE: Elaboración Propia.

Respecto a este punto, se muestra que este primer factor muestra unas correlaciones opuestas a las analizadas en CAP-2, dado que los parámetros marcadores que evidenciaban la presencia de aguas subterráneas, tales como fluoruros, boro, cloruros, sulfatos, calcio, sodio y STD disminuirían debido al aumento de caudal, por las precipitaciones y la posterior escorrentía del suelo, evidenciada por las altas correlaciones con hierro, plomo, cobre, cobalto, plomo, etc. Resaltar en este punto que el manganeso no presenta correlación con este factor y lo antes explicado, por lo que podríamos interpretar que este parámetro tendría algún otro factor o factores que desencadenarían sus altos niveles en algunos monitoreos. La presencia de coliformes y fósforo con altas correlaciones también indicaría que para este punto la influencia de las aguas de riego es mayores respecto a los puntos analizados aguas arriba en este río, en este caso, también relacionado con las precipitaciones. Así, el factor mencionado explica alrededor del 47 por ciento de la variabilidad total por sí mismo. El segundo factor explica el 22 por ciento de la variabilidad y en este caso se denota la presencia de los parámetros marcadores de aguas subterráneas, por lo que este factor estaría explicado por este suceso. Cabe mencionar que para este factor sí se relaciona el manganeso como parámetro influenciado por el agua subterránea

Tabla 53. Correlación entre componentes y variables TUM-3.

	F1	F2
Caudal	0.663	-0.363
Conductividad	0.082	0.853
Oxígeno Disuelto.	-0.138	0.147
pH (Campo)	0.154	0.433
Temperatura	0.350	-0.192
Alcalinidad Total	0.215	0.705
Dureza Total	0.235	0.822
Sólidos Totales Disueltos	0.234	0.870
Sólidos Totales Suspendidos	0.899	-0.291
Cloruros, Cl-	0.422	0.884
Fluoruros, F-	0.592	0.619
Nitratos, (como N)	0.692	-0.190
Sulfatos, SO ₄ -2	-0.123	0.736

FUENTE: Elaboración Propia

Continuación ...

Demanda Química de Oxígeno	0.690	-0.206
Detergentes Aniónicos	0.175	-0.175
Coliformes Fecales	0.478	0.465
Coliformes Totales	0.771	-0.435
Aluminio (Al)	0.911	-0.339
Antimonio (Sb)	0.429	-0.394
Arsénico (As)	0.968	0.114
Bario (Ba)	0.973	-0.185
Boro (B)	0.463	0.846
Calcio (Ca)	0.152	0.918
Cobalto (Co)	0.948	-0.167
Cobre (Cu)	0.860	0.121
Cromo (Cr)	0.736	-0.321
Estroncio (Sr)	0.506	0.810
Fosforo (P)	0.981	-0.088
Hierro (Fe)	0.923	-0.303
Litio (Li)	0.477	0.776
Magnesio (Mg)	0.591	0.512
Manganeso (Mn)	0.929	-0.019
Molibdeno (Mo)	0.164	0.259
Niquel (Ni)	0.784	-0.326
Plomo (Pb)	0.956	-0.172
Potasio (K)	0.891	-0.130
Silicio (Si)	0.706	-0.400
Sodio (Na)	0.344	0.902
Titanio (Ti)	0.931	-0.290
Uranio (U)	0.614	0.497
Vanadio (V)	0.953	-0.254
Zinc (Zn)	0.146	-0.333

FUENTE: Elaboración Propia.

Para este punto, el primer factor explica alrededor del 43 por ciento de la variabilidad total por sí mismo y como se podrá observar, evidencia una mezcla de los parámetros ya analizados en puntos anterior: parámetros que indican la prevalencia de las temporadas de lluvia y la escorrentía que genera la alta correlación de los parámetros de suelo, la presencia de parámetros que indican la influencia de las aguas de riego y la presencia de fluoruros, lo cual denota la influencia de la incorporación del río Huacanáne, aguas arriba de este punto de monitoreo. El segundo factor está correlacionado altamente con la conductividad, dureza, STD, Calcio, Sodio, Magnesio, por lo que lo asociamos con la disolución de sales.

V. CONCLUSIONES

- ❖ En líneas generales, los Indicadores ICA-PE, IPA e IM muestran evidencias para sostener que, respecto a los parámetros de monitoreo tomados en los ríos estudiados, el curso de los ríos Asana, Coscore y Tumilaca, junto con el curso del río Charaque presenta una calidad de agua aceptable; y, por el contrario, el curso de los ríos Capillune y Huacanane presentan una calidad de agua con valores no aceptables.
- ❖ A pesar de que los iones mayoritarios permiten realizar interpretaciones acertadas de las características hidroquímicas e hidrogeoquímicas en cuerpos de agua, es necesario cruzar esta información con estudios geoquímicos de cada zona de estudio, con el fin de poder interpretar de una manera correcta los resultados obtenidos.
- ❖ La geología local próxima a la cuenca del río Huacanane es el principal factor que influye en la calidad de las aguas subterráneas de la cuenca, la cual está determinada por el material parental de origen volcánico. En base a las características volcánicas de nuestra región, esta interacción agua-roca permite que se presenten niveles elevados de Manganeso, Cloruros, Fluoruros y Boro, principalmente. Además, la propia actividad de los volcanes de la zona sur del país podría influir en la calidad de las aguas superficial de los ríos cercanos e incluso en cuerpos continentales que se encuentren a varios kilómetros, a través de las posibles conexiones subsuperficiales que habría por la naturaleza geológica de las zonas, como sería el caso del presente estudio.
- ❖ A pesar de que el modelo Cormix 1 tiene limitaciones para una simulación con alta precisión de la dispersión de parámetros de un río menor al confluir con otro de mayor caudal, debido a las características estacionarias del diseño en contraste con la dinamicidad geomorfológica y accidentada de las zonas andinas; permite mostrar la dinámica de dispersión de diversos parámetros, lo que resulta provechoso para evaluar la extensión del riesgo ambiental en los primeros metros de la confluencia de dos ríos.

- ❖ Algunas especies podrían encontrarse en riesgo ecotoxicológico ambiental, de localizarse cerca a la incidencia del río Huacanane sobre el río Coscore, en al menos, los primeros 1680 metros desde su confluencia, la cual origina al río Tumilaca.
- ❖ A pesar de que tanto las evaluaciones espaciales, temporales, hidroquímicas e hidrogeológicas en la zona de estudio muestren evidencias de que la información generada tanto aguas arriba como aguas abajo del punto de confluencia presenta características similares sin variaciones significativas, existe una influencia real en términos geoquímicos dada la peculiaridad de las características del río Huacanane, que podrían resultar tóxicos para el ambiente y el hábitat de algunas especies locales sensibles. Por lo tanto, existe evidencia para afirmar que hay influencia ambiental en la calidad superficial del curso de agua del río Coscore y Tumilaca cuando se incorpora el río Huacanane.

VI. RECOMENDACIONES

- ❖ Respecto a los índices de metales, el Índice de Metales (IM) no resulta efectivo para análisis temporales con lapsos amplios. Su aplicación en análisis temporales de 5 años, como en la presente investigación, nos podría llevar a resultados erróneos o sobreestimaciones de calidades deficientes.
- ❖ Es necesario realizar más estudios sobre los efectos de la actividad volcánica en los componentes ambientales, no solo enfocándose en el componente atmosférico y la dispersión de las cenizas y/o proyectiles balísticos que afectan las localidades cercanas, sino también evaluando los efectos en los cuerpos de agua, y las variaciones de su calidad, como se ha podido demostrar en esta investigación.
- ❖ Es necesario realizar un estudio para evaluar las fuentes de manganeso, dado los altos niveles que se presentan en algunos monitoreos y que sobrepasan el valor del ECA 2017.
- ❖ Las aplicaciones de modelos de dispersión en aguas continentales del territorio peruano deberían contener como variables a las accidentadas características geográficas de nuestro país.
- ❖ Es necesario un análisis más complejo de las características geoquímicas de la geología de nuestro territorio, dadas las evidentes influencias que generan en los cuerpos de aguas continentales y que seguramente también en otros componentes ambientales.

VII. BIBLIOGRAFÍA

IV Modificatoria de Estudio de Impacto Ambiental – Proyecto Quellaveco (2015). Anglo American Quellaveco S.A, aprobada por Resolución Directoral N°339-2015-MEM/DGAAM.

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, Perú.

AngloAmerican (2019). Quellaveco. Moquegua: AngloAmerican. Recuperado de: https://peru.angloamerican.com/quellaveco/el-proyecto?sc_lang=es-ES

Brenes, GC. (2009). Evaluación y clasificación preliminar de la calidad del agua de las Cuencas de los ríos Tárcoles y Reventazón. *Tecnología en Marcha* 22(506):57-64.

Callo Aguirre, N. L., & Laura Vigo, M. E. (2014). Propuesta de mejoramiento de diseño del vertimiento de un efluente minero en la quebrada Chonta mediante la aplicación de un modelo de dispersión de contaminantes y los índices de calidad de agua.

Calvo Brenes, G., & Mora Molina, J. (2009). Evaluación y clasificación preliminar de la calidad de agua de la cuenca del río Tárcoles y el Reventazón Parte III: Calidad de cuerpos receptores de agua, según el Sistema Holandés de Valoración. *Revista Tecnología en Marcha*, 20(4).

Cardona, A., Hernández, N. (1995). Modelo geoquímico conceptual de la evolución del agua subterránea en el valle de México. Universidad Nacional Autónoma de México, México. *Ingeniería Hidráulica en México*, 10 (3), 71-90.

Castro, M., Almeida, J., Ferrer, J., Díaz, D. (2009). Indicadores de la Calidad del Agua: Evolución y Tendencias a Nivel Global. Universidad Cooperativa de Colombia, Bogotá, Colombia. *Boletín Científico Ingeniería Solidaria*, 10(17), 111-124. doi: <http://dx.doi.org/10.16925/in.v9i17.811>

CCME (2017). Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic. Canadá. *CCME Water Quality Index User's Manual 2017 update.*

Córdova López, O. (2017). Concentración de ppm de Flúor en pastas dentales para niños, comercializadas en Lima Perú (Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica de Los Andes, Abancay, Perú)

Davies, P. H., & Brinkman, S. F. (1994). Acute and chronic toxicity of manganese to exposed and unexposed rainbow and brown trout. Fort Collins, CO, Colorado Division of Wildlife (Federal Aid Project# F-243R-1)

Dávila Sulbarán, D. C., & Rincón Velásquez, N. (2009). Diseño de un sistema a nivel piloto para la remoción del hierro y el manganeso por debajo de la concentración letal media (CL 50-48) para *Daphnia Magna*.

De la Torre A., Ñuñoz J., Carballo M. (2004). Curso de Toxicología Ambiental y Seguridad Química. Sanidad Ambiental CISA.

Donato, L. (1999). Hidrogeoquímica. Capítulo 3. UNAL, Colombia. Recuperado de: http://www.docentes.unal.edu.co/lldonadog/docs/Presentations/Donado_1999a.pdf

D.S. 004-2017-MINAM. Diario Oficial El Peruano. Lima, miércoles 07 de junio de 2017.

De la Torre A., Ñuñoz J., Carballo M. 2004. Curso de Toxicología Ambiental y Seguridad Química. Sanidad Ambiental CISA.

Evans, K., & Guariguata, M. R. (2008). Monitoreo participativo para el manejo forestal en el trópico: una revisión de herramientas, conceptos y lecciones aprendidas. CIFOR.

Ferrán Aranaz, M. (2001). SPSS para Windows. Análisis estadístico. Editorial Osborne-McGraw Hill, Primera edición en español. España.

Fieser, A. H., Sykora, J. L., Kostalos, M. S., Wu, Y. C., & Weyel, D. W. (1986). Effect of fluorides on survival and reproduction of *Daphnia magna*. Journal (Water Pollution Control Federation), 82-86.

García Hidalgo, Y., Balmaseda Espinosa, C., & Vargas Rodríguez, H. (2012). Caracterización hidroquímica de las aguas de riego de la cuenca del río Naranjo, municipio Majibacoa, provincia Las Tunas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 21(3), 29-34.

Gao, Z; Lin, Z; Niu, F; Luo, J; Liu, M; Yin, G. (2017). Geomorphology Hydrochemistry and controlling mechanism of lakes in permafrost regions along the Qinghai-Tibet Engineering Corridor , China (en línea). *Geomorphology* 297:159-169. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2017.09.020>.

Gave, J. (2013). Evaluación de la calidad de agua de los ríos del ámbito de influencia del proyecto de Camisea en la provincia de Huaytará, Huancavelica. *Universidad Nacional de Huancavelica* 3(2):58-63.

Gersich, F. M. (1984). Evaluation of a static renewal chronic toxicity test method for *Daphnia magna* Straus using boric acid. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, 3(1), 89-94.

Gibbs, R. J. (1970). Mechanisms controlling world water chemistry. *Science*, 170(3962), 1088-1090.

Gidahatari (2013). Componentes del agua subterránea. Capítulo 10. Lima, Perú. Recuperado de: gidahatari.com

Goher, ME; Hassan, AM; Abdel-moniem, IA; Fahmy, AH; El-sayed, SM. (2014). Evaluation of surface water quality and heavy metal indices of Ismailia Canal, Nile River, Egypt (en línea). *The Egyptian Journal of Aquatic Research* 40(3):225-233. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2014.09.001>.

Hahn-von Hessberg, C., Toro, D., Grajales-Quintero, A., Duque-Quintero, G., & Serna-Uribe, L. (2009). Determinación de la calidad del agua mediante indicadores biológicos y fisicoquímicos, en la estación piscícola, Universidad de Caldas, Municipio de Palestina, Colombia. *Boletín Científico Centro de Museos. Museo de Historia Natural*, 13(2), 89-105.

Huizar Álvarez, Rafael., Carrillo Rivera J. Joel., Juárez, Faustino. (2016). Fluoruro en el agua subterránea: niveles, origen y control natural en la región de Tenextepango, Morelos, México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM* ISSN 0188-4611, núm. 90, 2016, pp. 40-58, [dx.doi.org/10.14350/ig.47374](https://doi.org/10.14350/ig.47374)

Laraque, A., Cerón, C., Magat, P., & Pombosa, R. Informe del primer estudio del impacto de la marea sobre el estuario del Río Guayas (9 mayo de 2002). Véase en: https://hybam.obs-mip.fr/wp-content-hybam/uploads/2018/08/eq_22.pdf

Lecomte, K. L., García, M. G., Fórmica, S. M., & Depetris, P. J. (2011). Hidroquímica de ríos de montaña (Sierras de Córdoba, Argentina): Elementos mayoritarios disueltos. *Latin American journal of sedimentology and basin analysis*, 18(1), 43-62.

Ley N°29338. Ley de Recursos Hídricos. Diario Oficial El Peruano. Lima, 27 de marzo de 2019.

López, I (2013). Estudio Multivariante de la Calidad de Agua :Aplicación al río Júcar en el período 1990-2013. *Revista Electrónica de Medioambiente UCM (ISSN 1886-3329):37-52.*

Mariño Salazar, J., Samaniego Eguiguren, P., Rivera Porras, M. A., Macedo Franco, L. D., Lazarte Zerpa, I. A., Machacca Puma, R., ... & Ortega Gonzáles, M. A. (2015). Evolución del proceso eruptivo y productos emitidos por el volcán Ubinas 2013-2014. Libro de resúmenes: Foro Internacional sobre la Gestión del Riesgo Geológico: Reduciendo riesgos para el desarrollo sostenible, Arequipa, 14 al 17 de octubre 2015.

Merizalde Ramos, M. A. (2009). Determinación de los parámetros oceanográficos y ambientales para la colocación de un emisario subfluvial en el río Guayas (Bachelor's thesis).

Ministry of Environment – Government of Japan (SF). Profiles of the Initial Environmental Risk Assessment of Chemicals, Vol 6, Hydrogen fluoride and its water solute salts. Véase en: https://www.env.go.jp/en/chemi/chemicals/profile_erac/profile6/pf2-05.pdf

Montoya, O (2007). Aplicación del Análisis Factorial a la Investigación de Mercados. Caso de Estudio. *Scientia et Technica* Año XIII, No 35. Universidad Tecnológica de Pereira. ISSN 0122-1701

Municipalidad Distrital de Torata. (2018). Plan Distrital de Seguridad Ciudadana 2018, Comité Distrital de Seguridad Ciudadana. Véase en: <http://munitorata.gob.pe/wp-content/uploads/2018/04/PLSC2018.pdf>

Nazario, J. (1998). Efecto de la aplicación de materia orgánica y enmienda cálcica sobre el contenido de boro en un suelo de la Costa Sur. (Tesis de posgrado, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú)

Pasquini, A. I., Lecomte, K. L., & Depetris, P. J. (2004). Geoquímica de ríos de montaña en las Sierras Pampeanas: II. El río Los Reartes, sierra de Comenchingones, provincia de Córdoba. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 59(1), 129-140.

Padilla-reyes, DA; Núñez-peña, EP; Jesús, F De; Jorge, E. (2012). Calidad del agua del acuífero Guadalupe-Bañuelos, Estado de Zacatecas, México. *GEOS* 32(2):367-384.

Peña, D. (2013). Análisis por Componentes Principales en la Estimación de Índices de Empoderamiento en Mujeres de Colombia (Trabajo de Fin de Master). Universidad de Granada, España. Véase en: [http://masteres.ugr.es/moea/pages/curso201314/tfm1314/memoriamaesterdayanpaolapenamendez/!](http://masteres.ugr.es/moea/pages/curso201314/tfm1314/memoriamaesterdayanpaolapenamendez/)

Resolución Jefatural N°056-2018-ANA. Diario Oficial El Peruano. 21 de febrero de 2018.

Rivera Hoyos, Y. A., & Molina Trujillo, D. A. (2011). Determinación de la concentración letal media (CL50-96) de selenio y Boro sobre alevinos de trucha arco iris (*Oncorhynchus Mykiss*) mediante bioensayos.

Rivera, S., Godorccci, S., Borgel, L., Díaz, E., Fuchs, T., Martin, P., & Isabel, M. (1993). Flúor: potenciales efectos adversos. *Revista chilena de pediatría*, 64(4), 278-283.

Rodríguez de Barbarín, C. O., & Barbarín Castillo, J. M. (1993). Influencia de la geología regional, los ciclos estacionales y los asentamientos humanos en la caracterización de las aguas superficiales de la cuenca de Linares-Cerro Prieto, NL, México. *Geofísica Internacional*, 32(2).

Samaniego, P., Rivera, M., Nauret, F., Liorzou, C., Ancellin, M. (2018). Reconstrucción petrológica del sistema de alimentación del volcán Ubinas y sus implicaciones para la evaluación de la amenaza. Foro Internacional: Los volcanes y su impacto. Arequipa, Perú. Extraído de: Repositorio INGEMMET.

San Miguel de la Cámara, M. (1956). *Geoquímica de las aguas termales*. Madrid, España. Véase en: <https://books.google.com.pe/books?id=14B4PIhnM0IC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

Serrano, R. (2003). *Introducción a los análisis de datos experimentales: tratamiento de bioensayos*. Publicaciones de la Universitá Jaume I, D.L. Castelló, Valencia, España. ISBN: 84-8021-429-5.

Teves, B. (2016). *Estudio Físicoquímico de la Calidad del Agua del Río Caca Región Lima* (Tesis de Magister). Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú. Véase

en:http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/6797/TEVES_AGUIRRE_BETTY_ESTUDIO_FISICOQUIMICO_AGUA_RIO_CACRA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Triveño, D. (2016). Influencia del agua del río Mariño en la Calidad del agua del río Pachacaca (Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica de Los Andes, Abancay, Perú)

Tostado, M. (2010). Desarrollo hidrogeoquímico de la cuenca San Miguel, Baja California (Tesis de posgrado, Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada, Baja California, México)

Valdez-Jiménez, L., Fregozo, C. S., Beltrán, M. M., Coronado, O. G., & Vega, M. P. (2011). Efectos del flúor sobre el sistema nervioso central. *Neurología*, 26(5), 297-300.

Valley, V; Pass, B. (1994). Geochemical processes affecting meltwater chemistry and the formation of saline ponds in the Victoria Valley and Bull Pass region, Antarctica. *Hydrobiologia* 281:171-186.

Vicente, V; Arias, J; Parra, F; Beltrán, M. (2019). Métodos de Data Science aplicados a la Economía y a la Administración y Dirección de Empresas. (2019). Universidad Nacional de Educación a Distancia, Madrid, España. ISBN: 978-84-362-7601-5.

Webster, J. G., Brown, K. L., & Vincent, W. F. (1994). Geochemical processes affecting meltwater chemistry and the formation of saline ponds in the Victoria Valley and Bull Pass region, Antarctica. *Hydrobiologia*, 281(3), 171-186.

XLSTAT (2019). Centro de Ayuda en XLSTAT. Véase en: <https://help.xlstat.com/s/article/analisis-de-componentes-principales-en-excel?language=es>

Yengle, C. (2012). Aplicación del análisis de componentes principales como técnica para obtener, Universidad Cesar Vallejo, La Libertad, Perú. *UCV Scientia*, 4(2), 145-153.

Zhu, B; Yang, X; Ríoual, P; Qin, X; Liu, Z; Xiong, H; Yu, J. (2011). Applied Geochemistry Hydrogeochemistry of three watersheds (the Erlqis , Zhungarer and Yili) in northern (en línea). *Applied Geochemistry* 26(8):1535-1548. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2011.06.018>.

VIII. ANEXOS

CORMIX Prediction File

Prediction File

```
BEGIN MOD161: PASSIVE AMBIENT MIXING IN UNIFORM AMBIENT

Vertical diffusivity (initial value) = 0.144E-02 m^2/s
Horizontal diffusivity (initial value) = 0.361E-02 m^2/s

The passive diffusion plume is VERTICALLY FULLY MIXED at beginning of region.

Profile definitions:
BV = Gaussian s.d.*sqrt(pi/2) (46%) thickness, measured vertically
    = or equal to layer depth, if fully mixed
BH = Gaussian s.d.*sqrt(pi/2) (46%) half-width,
    measured horizontally in Y-direction
ZU = upper plume boundary (Z-coordinate)
ZL = lower plume boundary (Z-coordinate)
S = hydrodynamic centerline dilution
C = centerline concentration (includes reaction effects, if any)
TT = Cumulative travel time

Plume Stage 2 (bank attached):
      X      Y      Z      S      C      BV      BH      ZU      ZL      TT
0.78  -0.10  0.70  1.4  0.880E+00  1.00  1.67  0.70  0.00  .48196E+01
80.75  -0.10  0.70  2.3  0.536E+00  0.70  2.75  0.70  0.00  .42319E+03
160.72 -0.10  0.70  2.9  0.420E+00  0.70  3.50  0.70  0.00  .84156E+03
240.69 -0.10  0.70  3.5  0.357E+00  0.70  4.13  0.70  0.00  .12599E+04
320.66 -0.10  0.70  3.9  0.315E+00  0.70  4.67  0.70  0.00  .16783E+04
400.63 -0.10  0.70  4.3  0.286E+00  0.70  5.15  0.70  0.00  .20967E+04
480.59 -0.10  0.70  4.7  0.263E+00  0.70  5.59  0.70  0.00  .25150E+04
560.56 -0.10  0.70  5.0  0.245E+00  0.70  6.00  0.70  0.00  .29334E+04
640.53 -0.10  0.70  5.3  0.231E+00  0.70  6.38  0.70  0.00  .33518E+04
720.50 -0.10  0.70  5.6  0.218E+00  0.70  6.74  0.70  0.00  .37702E+04

The passive diffusion plume becomes LATERALLY FULLY MIXED over the channel
width during the current prediction interval.
The x-coordinate of bank attachment is 779.94 m.
800.47  -0.10  0.70  5.9  0.208E+00  0.70  7.00  0.70  0.00  .41885E+04
Effluent is FULLY MIXED over the entire channel cross-section.
Except for possible far-field decay or reaction processes, there are
NO FURTHER CHANGES with downstream direction.
880.44  -0.10  0.70  5.9  0.210E+00  0.70  7.00  0.70  0.00  .46069E+04
960.41  -0.10  0.70  5.9  0.210E+00  0.70  7.00  0.70  0.00  .50253E+04
1040.38 -0.10  0.70  5.9  0.210E+00  0.70  7.00  0.70  0.00  .54437E+04
1120.34 -0.10  0.70  5.9  0.210E+00  0.70  7.00  0.70  0.00  .58620E+04
1200.31 -0.10  0.70  5.9  0.210E+00  0.70  7.00  0.70  0.00  .62804E+04
```

Anexo 1. Modelo de Cormix de Fluoruros. FUENTE: Elaboración Propia

Prediction File

BEGIN MOD161: PASSIVE AMBIENT MIXING IN UNIFORM AMBIENT

Vertical diffusivity (initial value) = 0.144E-02 m²/s
 Horizontal diffusivity (initial value) = 0.722E-02 m²/s

The passive diffusion plume is VERTICALLY FULLY MIXED at beginning of region.

Profile definitions:

- BV = Gaussian s.d.*sqrt(pi/2) (46%) thickness, measured vertically
 = or equal to layer depth, if fully mixed
- BH = Gaussian s.d.*sqrt(pi/2) (46%) half-width,
 measured horizontally in Y-direction
- ZU = upper plume boundary (Z-coordinate)
- ZL = lower plume boundary (Z-coordinate)
- S = hydrodynamic centerline dilution
- C = centerline concentration (includes reaction effects, if any)
- TT = Cumulative travel time

Plume Stage 2 (bank attached):

X	Y	Z	S	C	BV	BH	ZU	ZL	TT
0.80	0.10	0.70	1.4	0.380E+01	1.00	1.68	0.70	0.00	.48302E+01
80.76	0.10	0.70	2.9	0.181E+01	0.70	3.51	0.70	0.00	.42320E+03
160.73	0.10	0.70	3.9	0.136E+01	0.70	4.67	0.70	0.00	.84157E+03
240.70	0.10	0.70	4.7	0.114E+01	0.70	5.59	0.70	0.00	.12599E+04
320.67	0.10	0.70	5.3	0.997E+00	0.70	6.38	0.70	0.00	.16783E+04

The passive diffusion plume becomes LATERALLY FULLY MIXED over the channel width during the current prediction interval.

The x-coordinate of bank attachment is 390.27 m.

400.64	0.10	0.70	5.9	0.898E+00	0.70	7.00	0.70	0.00	.20967E+04
--------	------	------	-----	-----------	------	------	------	------	------------

Effluent is FULLY MIXED over the entire channel cross-section.

Except for possible far-field decay or reaction processes, there are NO FURTHER CHANGES with downstream direction.

480.60	0.10	0.70	5.9	0.909E+00	0.70	7.00	0.70	0.00	.25150E+04
560.57	0.10	0.70	5.9	0.909E+00	0.70	7.00	0.70	0.00	.29334E+04
640.54	0.10	0.70	5.9	0.909E+00	0.70	7.00	0.70	0.00	.33518E+04
720.51	0.10	0.70	5.9	0.909E+00	0.70	7.00	0.70	0.00	.37701E+04
800.48	0.10	0.70	5.9	0.909E+00	0.70	7.00	0.70	0.00	.41885E+04
880.45	0.10	0.70	5.9	0.909E+00	0.70	7.00	0.70	0.00	.46069E+04
960.41	0.10	0.70	5.9	0.909E+00	0.70	7.00	0.70	0.00	.50253E+04
1040.38	0.10	0.70	5.9	0.909E+00	0.70	7.00	0.70	0.00	.54436E+04
1120.35	0.10	0.70	5.9	0.909E+00	0.70	7.00	0.70	0.00	.58620E+04
1200.32	0.10	0.70	5.9	0.909E+00	0.70	7.00	0.70	0.00	.62804E+04
1280.29	0.10	0.70	5.9	0.909E+00	0.70	7.00	0.70	0.00	.66987E+04
1360.25	0.10	0.70	5.9	0.909E+00	0.70	7.00	0.70	0.00	.71171E+04
1440.22	0.10	0.70	5.9	0.909E+00	0.70	7.00	0.70	0.00	.75355E+04
1520.19	0.10	0.70	5.9	0.909E+00	0.70	7.00	0.70	0.00	.79538E+04
1600.16	0.10	0.70	5.9	0.909E+00	0.70	7.00	0.70	0.00	.83722E+04
1680.13	0.10	0.70	5.9	0.909E+00	0.70	7.00	0.70	0.00	.87906E+04
1760.10	0.10	0.70	5.9	0.909E+00	0.70	7.00	0.70	0.00	.92089E+04
1840.06	0.10	0.70	5.9	0.909E+00	0.70	7.00	0.70	0.00	.96273E+04
1920.03	0.10	0.70	5.9	0.909E+00	0.70	7.00	0.70	0.00	.10046E+05
2000.00	0.10	0.70	5.9	0.909E+00	0.70	7.00	0.70	0.00	.10464E+05

Cumulative travel time = 10464.0449 sec (2.91 hrs)

Simulation limit based on maximum specified distance = 2000.00 m

Save

Print

Clear

Close

CORMIX Prediction File

Prediction File

```

BEGIN MOD161: PASSIVE AMBIENT MIXING IN UNIFORM AMBIENT

Vertical diffusivity (initial value) = 0.144E-02 m^2/s
Horizontal diffusivity (initial value) = 0.722E-02 m^2/s

The passive diffusion plume is VERTICALLY FULLY MIXED at beginning of region.

Profile definitions:
BV = Gaussian s.d.*sqrt(pi/2) (46%) thickness, measured vertically
    = or equal to layer depth, if fully mixed
BH = Gaussian s.d.*sqrt(pi/2) (46%) half-width,
    measured horizontally in Y-direction
ZU = upper plume boundary (Z-coordinate)
ZL = lower plume boundary (Z-coordinate)
S = hydrodynamic centerline dilution
C = centerline concentration (includes reaction effects, if any)
TT = Cumulative travel time

Plume Stage 2 (bank attached):
  X      Y      Z      S      C      BV      BH      ZU      ZL      TT
  0.80   0.10   0.70   1.4  0.242E+00  1.00   1.68   0.70   0.00  .48302E+01
  80.76  0.10   0.70   2.9  0.115E+00  0.70   3.51   0.70   0.00  .42320E+03
 160.73  0.10   0.70   3.9  0.868E-01  0.70   4.67   0.70   0.00  .84157E+03
 240.70  0.10   0.70   4.7  0.724E-01  0.70   5.59   0.70   0.00  .12599E+04
 320.67  0.10   0.70   5.3  0.634E-01  0.70   6.38   0.70   0.00  .16783E+04

The passive diffusion plume becomes LATERALLY FULLY MIXED over the channel
width during the current prediction interval.
The x-coordinate of bank attachment is 390.27 m.
400.64  0.10   0.70   5.9  0.571E-01  0.70   7.00   0.70   0.00  .20967E+04

Effluent is FULLY MIXED over the entire channel cross-section.
Except for possible far-field decay or reaction processes, there are
NO FURTHER CHANGES with downstream direction.
480.60  0.10   0.70   5.9  0.578E-01  0.70   7.00   0.70   0.00  .25150E+04
560.57  0.10   0.70   5.9  0.578E-01  0.70   7.00   0.70   0.00  .29334E+04
640.54  0.10   0.70   5.9  0.578E-01  0.70   7.00   0.70   0.00  .33518E+04
720.51  0.10   0.70   5.9  0.578E-01  0.70   7.00   0.70   0.00  .37701E+04
800.48  0.10   0.70   5.9  0.578E-01  0.70   7.00   0.70   0.00  .41885E+04
880.45  0.10   0.70   5.9  0.578E-01  0.70   7.00   0.70   0.00  .46069E+04
960.41  0.10   0.70   5.9  0.578E-01  0.70   7.00   0.70   0.00  .50253E+04
1040.38 0.10   0.70   5.9  0.578E-01  0.70   7.00   0.70   0.00  .54436E+04
1120.35 0.10   0.70   5.9  0.578E-01  0.70   7.00   0.70   0.00  .58620E+04
1200.32 0.10   0.70   5.9  0.578E-01  0.70   7.00   0.70   0.00  .62804E+04
1280.29 0.10   0.70   5.9  0.578E-01  0.70   7.00   0.70   0.00  .66987E+04
1360.25 0.10   0.70   5.9  0.578E-01  0.70   7.00   0.70   0.00  .71171E+04
1440.22 0.10   0.70   5.9  0.578E-01  0.70   7.00   0.70   0.00  .75355E+04
1520.19 0.10   0.70   5.9  0.578E-01  0.70   7.00   0.70   0.00  .79538E+04
1600.16 0.10   0.70   5.9  0.578E-01  0.70   7.00   0.70   0.00  .83722E+04
1680.13 0.10   0.70   5.9  0.578E-01  0.70   7.00   0.70   0.00  .87906E+04
1760.10 0.10   0.70   5.9  0.578E-01  0.70   7.00   0.70   0.00  .92089E+04
1840.06 0.10   0.70   5.9  0.578E-01  0.70   7.00   0.70   0.00  .96273E+04
1920.03 0.10   0.70   5.9  0.578E-01  0.70   7.00   0.70   0.00  .10046E+05
2000.00 0.10   0.70   5.9  0.578E-01  0.70   7.00   0.70   0.00  .10464E+05

Cumulative travel time = 10464.0449 sec ( 2.91 hrs)

Simulation limit based on maximum specified distance = 2000.00 m.
This is the REGULATORY MIXING ZONE limitation on distance.

```

Anexo 3. . Modelo de Cormix de Manganeso. FUENTE: Elaboración Propia