

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**RELACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE MACRO-ESCALA EN LA CALIDAD DEL
AGUA EN LA INTERCUENCA ALTO HUALLAGA; 2018-2021**

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTADO POR:

BERNABE LUWY LEONARDO GUZMAN HUARANGA

Tingo María – Perú

2026



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N°067-2026-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 20 de febrero de 2026, a horas 09:30 a.m. en la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

“RELACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE MACRO-ESCALA EN LA CALIDAD DEL AGUA EN LA INTERCUENCA ALTO HUALLAGA; 2018-2021”

Presentado por el Bachiller: **GUZMAN HUARANGA, BERNABE LUWY LEONARDO** después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de **“MUY BUENA”**.

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL** que será aprobado por el Consejo de Facultad, Tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título Correspondiente.

Tingo María, 28 de mayo de 2026

Ing. MSc. SANDRA LORENA ZAVALA GUERRERO
PRESIDENTE

Ing. MSc. ABBY SOLANGE DE LA CRUZ RODRIGUEZ
MIEMBRO



Ing. MSc. PATRICIA P. ROMERO USHUÑAHUA
MIEMBRO

Ing. MSc. ERLE OTTO J. BUSTAMANTE SCAGLIONI
ASESOR



UNAS

VICERRECTORADO DE
INVESTIGACIÓN

INSTITUTO DE
INVESTIGACIÓN

UNIDAD DE SOPORTE
CIENTÍFICO
REPOSITORIO INSTITUCIONAL

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N 185 - 2026 - CS-RIDUNAS

El Jefe de la Unidad de Soporte Científico de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% y contenido generado por Inteligencia Artificial menor o igual al 20%. Según establece el Art. 29° y 30° del Acuerdo Nro.017-2025-CIUNAS-VRI-UNAS.

Programa de Estudio:

Ingeniería Ambiental

Tipo de documento:

Tesis	X	Trabajo de Suficiencia Profesional	
-------	---	------------------------------------	--

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE	
		SIMILITUD	CONTENIDO GENERADO POR INTELIGENCIA ARTIFICIAL
RELACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE MACRO-ESCALA EN LA CALIDAD DEL AGUA EN LA INTERCUENCA ALTO HUALLAGA; 2018-2021	BERNABE LUWY LEONARDO GUZMAN HUARANGA	06 % Seis	Menor a 20 %

Tingo María, 17 de junio de 2026.

 UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
UNIDAD DE SOPORTE CIENTÍFICO

ING. EINSTEIN A. ORTIZ MORALES
JEFE

C.C. Archivo

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



RELACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE MACRO-ESCALA EN LA CALIDAD DEL AGUA EN LA INTERCUENCA ALTO HUALLAGA; 2018-2021

- Autor** : Bach. Guzman Huaranga, Bernabe Luwy Leonardo
- Asesor** : M.Sc. Bustamante Scaglioni, Erle Otto Javier
- Programa de investigación** : Gestión ambiental
- Línea de investigación** : Desarrollo sostenible
- Eje temático** : Índices, indicadores y estándares de calidad ambiental
- Lugar de ejecución** : Intercuenca Alto Huallaga
- Duración del trabajo** : 1 año
- Financiamiento** : Propio
- Monto** : S/ 1 146,06

Tingo María – Perú

Junio, 2025



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Tingo María

VICERRECTORADO DE INVESTIGACION DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

“Promoviendo la Calidad de la Investigación”

REGISTRO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO UNIVERSITARIO

Universidad : Universidad Nacional Agraria de la Selva
Facultad : Facultad de Recursos Naturales Renovables
Escuela Profesional : Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental
Título de Tesis : RELACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE MACRO-ESCALA EN LA CALIDAD DEL AGUA EN LA INTERCUENCA ALTO HUALLAGA; 2018-2021
Objetivo General : Evaluar la relación de los Parámetros de Macro Escala (PME) y la Calidad del Agua en la Intercuenca Alto Huallaga en el periodo 2018-2021.
Autor de la Tesis : Bernabe Luwy Leonardo Guzman Huaranga
DNI : 70023277
Correo Electrónico : luwy.guzman@unas.edu.pe
Asesores de Tesis : 1. M.Sc. Bustamante Scaglioni, Erle Otto Javier
Área de Investigación : Gestión Ambiental
Grupo de Investigación : Índices, indicadores y estándares de calidad ambiental
Línea de Investigación : Desarrollo Sostenible
Lugar de Ejecución : Intercuenca Alto Huallaga
Fecha de inicio : 27/06/2023
Fecha de termino : 28/05/2026
Presupuesto : S/. 1 146,06
Financiamiento : Propio () FEDU () Externo ()

Según: Resolución: N° 461-2023-R-UNAS y Resolución: N° 295-2023-R-UNAS

Guzman Huaranga, Bernabe Luwy Leonardo
Tesista

Bustamante Scaglioni, Erle Otto Javier
Asesor

DEDICATORIA

A Dios por su amor inmenso e incondicional que me concedió la fortaleza, la sabiduría y la salud necesarias para culminar con éxito esta etapa de mi formación profesional.

A mi mamita Luisa Loyola Bernal: que está en el cielo, quien forjo en mí, los primeros cimientos de mi vida.

A mi Papito, Leonardo Guzmán Rojas, quien me apoyo e inspiró a seguir luchando por nuestros sueños, con compromiso, humildad, disciplina y responsabilidad.

A mi padre Diomenes Guzman Loyola, por brindarme todo su apoyo, confianza, amor y esfuerzo que me ha permitido culminar mi carrera profesional.

A mi hermanito Dhiomarc, que me dio alegrías, calma y motivación, eres grande mi “campeón”.

A Grecia, mi complemento, por su amor, paciencia y por sostenerme con firmeza en los momentos más exigentes

A toda mi familia y amigos por su apoyo moral y espiritual para poder concluir esta etapa de mi formación profesional.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva por forjarme como profesional y darme las herramientas necesarias para trazarme una carrera profesional digna.

A mi asesor, M.Sc. Erle Otto Javier Bustamante Scaglioni, por su compromiso excepcional de inicio a fin. Gracias por su guía académica, su paciencia, su exigencia profesional y el tiempo dedicado al desarrollo de esta investigación.

A los especialistas: al Dr. José Ney Ríos Ramírez (CATIE), por su apoyo en el análisis de datos y la interpretación de resultados; al Ing. MSc. Geólogo Juan Carlos Torres Lázaro, por su importante contribución en el desarrollo de la variable geológica; a la Ing. Evelin Sabino Rojas (SENAMHI), por su orientación técnica en la variable de erosión hídrica; y al docente de MaterGIS, Cesar Luis Aybar Camacho, por su apoyo especializado en el desarrollo del script aplicado en este estudio.

A los miembros del jurado, Ing. MSc. Sandra Lorena Zavala Guerrero, Ing. MSc. Abby Solange Da Cruz Rodríguez e , Ing. MSc. Patricia Pilar Romero Ushñuahua, por sus valiosos aportes, sugerencias y observaciones, así como por el rigor profesional con el que asumieron su rol, contribuyendo a fortalecer y enriquecer este trabajo.

A la Autoridad Nacional del Agua (ANA), en especial a la ALA Tingo María, por brindarme la experiencia, las facilidades y la información técnica necesaria para el análisis y desarrollo de la presente investigación.

A mi familia, Diomenes, Hayhlen, Dhiomarc, papito Leonardo, por su apoyo inquebrantable durante todo el proceso de esta investigación. Su compañía, confianza y respaldo fueron el motor que me permitió avanzar con determinación esta etapa.

Finalmente, a mis amigos y seres queridos: Leonel, Rayssa, Grecia Isabel, José Luis, Rainey, Bárbara, Susan, Thalía, Gabo, Sabina y Gianela, y madrina Elizabeth Guzmán, por cada palabra de aliento, motivación constante acompañándome en la culminación de esta etapa.

ÍNDICE

Página

I.	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	Objetivo General.....	2
1.2.	Objetivos Específicos	2
II.	REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1.	Antecedentes.....	3
2.1.1.	Antecedentes internacionales	3
2.1.2.	Antecedentes nacionales.....	5
2.1.3.	Antecedentes locales	7
2.2.	Calidad del Agua	8
2.2.1.	Estándares de Calidad del Agua	8
2.2.2.	Parámetros de calidad del agua en la Intercuenca Alto Huallaga.....	10
2.2.3.	Índices de Calidad del Agua.....	12
2.2.4.	Índice NSF-WQI	15
2.3.	Uso y cobertura del suelo	16
2.3.1.	Metodologías Land Cover	16
2.4.	Erosión hídrica.....	18
2.4.1.	Tipos de erosión hídrica	19
2.4.2.	Metodologías para determinar la erosión hídrica	20
2.4.3.	Clasificación de los Niveles de erosión.....	20
2.5.	Densidad Poblacional	22
2.6.	Geología y calidad del agua.....	22
2.7.	Análisis multivariado.....	23
2.7.1.	Proceso de análisis jerárquico (AHP).....	23
2.7.2.	Regresión lineal multivariada.....	24
2.7.3.	Análisis de Conglomerados	24
2.7.4.	Análisis de discriminante lineal.....	25
2.7.5.	Análisis de componentes principales.....	25
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	26
3.1.	Lugar de ejecución.....	26
3.1.1.	Ubicación del área de estudio	26
3.1.2.	Clima	28
3.1.3.	Hidrografía	28
3.2.	Materiales y equipos	30
3.2.1.	Materiales	30
3.2.2.	Equipos	30
3.2.3.	Recursos digitales	30
3.2.4.	Software para procesamiento.....	30
3.3.	Criterios de investigación	30
3.3.1.	Alcance de investigación.....	30

3.3.2. Diseño de investigación.....	30
3.3.3. Población.....	31
3.3.4. Muestra.....	31
3.3.5. Operacionalización de variables.....	31
3.3.6. Obtención de datos.....	31
3.3.7. Estandarización de datos.....	46
3.3.8. Delimitación de las Sub Unidades Hidrográficas (S-UH) de la ICAH.....	47
3.3.9. Base de datos.....	50
3.3.10. Flujoograma de investigación.....	52
3.4. Metodología.....	52
3.4.1. Análisis de la relación de los Parámetros de Macro Escala (PME) y los Parámetros de Micro Escala de Calidad del Agua (PMECA).....	52
3.4.2. Evaluación de la influencia de la distancia de Recorrido Hidrológico en la relación entre los PME y los PMECA.....	57
3.4.3. Desarrollo del modelo predictivo de Calidad del Agua en función de los PME, empleando Regresión Lineal Múltiple (RLM).....	60
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	61
4.1. Análisis de la relación de los Parámetros de Macro Escala (PME) y los Parámetros de Micro Escala de Calidad del Agua (PMECA).....	61
4.1.1. Del método de Análisis de Proceso Jerárquico (AHP).....	61
4.1.2. De las correlaciones de Pearson.....	64
4.1.3. Del Análisis de Conglomerados.....	73
4.1.4. Del Análisis de Discriminante.....	79
4.1.5. Proyección final.....	81
4.2. Evaluación de la influencia de la distancia de Recorrido Hidrológico en la relación entre los PME y los PMECA.....	85
4.2.1. Distancias y ponderación de los PME.....	85
4.2.2. Depuración de datos mediante distancia de Cook y diagramas de Caja.....	90
4.3. Desarrollo del modelo predictivo de Calidad del Agua en función de los PME, empleando Regresión Lineal Múltiple (RLM).....	91
4.3.1. Comparación entre distancias Radial, Paralela e Hidrológica.....	95
4.3.2. Aspectos generales de los modelos lineales.....	95
V. CONCLUSIONES.....	96
VI. PROPUESTA A FUTURO.....	97
VII. REFERENCIAS.....	98
VIII. ANEXOS.....	107

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Estándares de calidad del agua para el suministro de agua potable.....	9
2. Clasificación de categorías y subcategorías de los ECA del Agua en el Perú.....	10
3. Parámetros evaluados por la ANA en los monitoreos participativos	11
4. Parámetros de evaluación e índices de calidad de agua.....	13
5. Índices de Calidad del Agua más aplicados.....	14
6. Estratificación del nivel de Calidad del Agua de acuerdo al NSFQI.....	15
7. Nomenclatura de clasificación de cobertura de suelo Corine Land Cover.....	17
8. Estratificación de los niveles de erosión y pérdida de suelo en t/ha-año.....	21
9. Clasificación de los niveles de erosión y pérdida de suelo en t/ha-año.....	21
10. Evaluación de degradación y pérdida de suelo en t/ha-año.....	22
11. Escala fundamental de comparación por pares (Saaty, 1980).....	24
12. Cantidad municipios distritales por provincia y departamento del área de estudio.....	26
13. Operacionalización de Variables.....	31
14. Clasificación de niveles de erosión hídrica.....	38
15. Expertos de la validación del instrumento en geología.....	42
16. Rangos para la clasificación del nivel de aporte geoquímico.....	43
17. Parámetros empleados en el ICARHS por cada categoría.....	45
18. Valoración del Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos.....	46
19. Matriz de verificación de disponibilidad de información de las variables de estudio....	46
20. Acumulación de cuencas de la Intercuenca Alto Huallaga.....	49
21. Organización de la Base Datos de los parámetros de Calidad del Agua.....	50
22. Resumen de los Datos de los parámetros de Calidad del Agua de la ICAH.....	51
23. Estructura de datos de los parámetros de macro-escala.....	51
24. Expertos de la validación del instrumento relación de PME y PMECA.....	52
25. Coeficiente de correlación de Pearson.....	54
26. Numero de Clústeres (K) obtenidos según criterios.....	55
27. Grupo de variables.....	55
28. Ponderaciones de distancias empleadas para los PME.....	59
29. Peso ponderado de los cuatro Parámetros de Macro Escala (PME).....	61
30. Peso ponderado de los Sub Parámetros de Macro Escala Uso del Suelo.....	62
31. Peso ponderado de los Sub Parámetros de Macro Escala Geología.....	63
32. Peso ponderado de los Sub Parámetros de Macro Escala Erosión Hídrica.....	64
33. Parámetros de Macro-Escala (PME) con mayor poder discriminante Serie 7.....	79
34. Parámetros de Macro-Escala (PME) con mayor poder discriminante Serie 8.....	80
35. Parámetros de Macro-Escala (PME) con mayor poder discriminante Serie 9.....	81
36. Parámetros de Macro-Escala (PME) y los PMECA de la temporada de “Estiaje”.....	82
37. Parámetros de Macro-Escala (PME) y los PMECA de la temporada de “Avenida”.....	83
38. Parámetros de Macro-Escala (PME) y los PMECA del “Total” de campañas.....	84

39.	Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos (ICARHS) promedio.	87
40.	PME Ponderado por cada S-UH para Distancia Radial.....	89
41.	PME Ponderado por cada S-UH para Distancia Paralela	89
42.	PME Ponderado por cada S-UH para Distancia Hidrológica	90
43.	Observaciones(ID) que fueron eliminados del Modelo	91
44.	Modelos estadísticos entre PME y PMECA de la serie “2021-I”.....	92
45.	Modelos estadísticos entre PME y PMECA de la serie “Estiaje”	93
46.	Modelos estadísticos entre PME y PMECA de la serie “Avenida”	94
47.	Modelos estadísticos entre PME y PMECA de la serie “Total”	94
48.	Base de datos de los resultados de valoración de parte de los geólogos.....	147
49.	Correlación de Pearson de la campaña 2018-I, serie de datos 1.....	149
50.	Correlación de Pearson de la campaña 2018-II, serie de datos 2.....	150
51.	Correlación de Pearson de la campaña 2019-II, serie de datos 3.....	151
52.	Correlación de Pearson de la campaña 2019-IV, serie de datos 4.....	152
53.	Correlación de Pearson de la campaña 2020-II, serie de datos 5.....	153
54.	Correlación de Pearson de la campaña 2021-I, serie de datos 6.....	154
55.	Correlación de Pearson de la época de Estiaje, serie de datos 7.....	155
56.	Correlación de Pearson de la época de Avenida, serie de datos 8.....	156
57.	Correlación de Pearson del total de datos, serie de datos 9.....	157
58.	Resultados detallados obtenidos para la Distancia Radial.....	172
59.	Resultados detallados obtenidos para la Distancia Paralela	175
60.	Resultados detallados obtenidos para la Distancia Hidrológica	178

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Tasas de erosión global. Fuente: Camargo et al. (2017).....	18
2. Estructura Jerárquica, Fuente: Mendoza et al. (2018).	23
3. Gráfico de regresión lineal y línea discriminante, Fuente: Garcia (2018).....	25
4. Ubicación del área de estudio en el territorio peruano	27
5. Hidrografía de la Intercuenca Alto Huallaga	29
6. Imágenes Esri en descarga para el año 2019 de las cuadrículas 18L y 18M.	32
7. Flujo del procedimiento para la estimación de la erosión hídrica.	34
8. Flujograma de procedimiento para la estimación de aporte geoquímico.	40
9. Acumulación de cuencas y Sub Unidades Hidrográficas (S-UH) de la IACH.....	48
10. Flujograma del proyecto de investigación, Fuente: elaboración propia.	52
11. Criterios de la comparación de Pares.....	53
12. Correlación de la serie 1 de la campaña 2018-I.....	65
13. Correlación de la serie 2 de la campaña 2018-II.....	66
14. Correlación de la serie 3 de la campaña 2019-II.....	67
15. Correlación de la serie 4 de la campaña 2019-IV	67
16. Correlación de la serie 5 de la campaña 2020-II.....	69
17. Correlación de la serie 6 de la campaña 2021-I.....	69
18. Correlación de la serie 7 de la Temporada de Estiaje.....	70
19. Correlación de la serie 8 de la Temporada de Avenida	71
20. Correlación de la serie 9 de la totalidad de datos.....	72
21. Dendograma de Análisis Clúster de la Serie 1.....	74
22. Dendograma de Análisis Clúster de la Serie 2.....	74
23. Dendograma de Análisis Clúster de la Serie 3.....	75
24. Dendograma de Análisis Clúster de la Serie 4.....	75
25. Dendograma de Análisis Clúster de la Serie 5.....	76
26. Dendograma de Análisis Clúster de la Serie 6.....	76
27. Dendograma de Análisis Clúster de la Serie 7.....	77
28. Dendograma de Análisis Clúster de la Serie 8.....	77
29. Dendograma de Análisis Clúster de la Serie 9.....	78
30. Distancias en la ICAH : distancia radial, paralela e hidrológica.	86
31. Distancia de Cook para modelo de RLM de Distancias con PMECA “Total”.....	90
32. Validación del Instrumento de la relación PME y PMECA por Experto 1	108
33. Validación del Instrumento de la relación PME y PMECA por Experto 2	109
34. Validación del Instrumento de la relación PME y PMECA por Experto 3	110
35. Respuesta del INGEMMET sobre la información geológica de la ICAH.....	121
36. Respuesta técnica del INGEMMET con el link de descarga de información.....	122
37. Respuesta del INEI de Información demográfica para el área de estudio ICAH	123
38. Respuesta del MINAM de Información de Cobertura para el área de estudio ICAH ..	124

39.	Respuesta del MINAM con el link de acceso a Información de Cobertura.....	125
40.	Respuesta oficial de la AAA-Huallaga sobre la solicitud de información.	126
41.	Informe con el Link de descarga de los informes periodo 2014-2021.	127
42.	Registro de solicitud en INGEMMET.	128
43.	Registro de solicitud en la Universidad Nacional de Ingeniería.....	128
44.	Mapa base de la investigación de la ICAH con los puntos de monitoreo y S-UHs.....	129
45.	Erosión hídrica de la ICAH para el año 2018.	130
46.	Erosión hídrica de la ICAH para el año 2019.	131
47.	Erosión hídrica de la ICAH para el año 2020.	132
48.	Erosión hídrica de la ICAH para el año 2021.	133
49.	Densidad Poblacional por S-UH de la ICAH para el año 2018.	134
50.	Densidad Poblacional por S-UH de la ICAH para el año 2019.	135
51.	Densidad Poblacional por S-UH de la ICAH para el año 2020.	136
52.	Densidad Poblacional por S-UH de la ICAH para el año 2021.	137
53.	Uso de Suelo de la ICAH para el año 2018.	138
54.	Uso de Suelo de la ICAH para el año 2019.	139
55.	Uso de Suelo de la ICAH para el año 2020.	140
56.	Uso de Suelo de la ICAH para el año 2021.	141
57.	Mapa geológico de la Intercuenca Alto Huallaga.....	142
58.	Mapa metalogenetico de la ICAH.....	143
59.	Mapa geológico y metalogenetico de la intercuenca alto Huallaga.....	144
60.	Mapa del nivel de aporte geoquímico de la ICAH.	145
61.	Reunión de coordinación con experto en geología (Ing. Juan Torres Lazaro).	185
62.	Reunión de coordinación asesor y experto en Geología.....	185

RESUMEN

Esta investigación evaluó la influencia de los Parámetros de Macro-Escala (PME) sobre la calidad del agua superficial en la Intercuenca Alto Huallaga, integrando análisis estadístico multivariado, información geoespacial y modelamiento predictivo a gran escala. El estudio se desarrolló en 81 subunidades hidrográficas, cuyos PME fueron: Uso del Suelo, Densidad Poblacional, Erosión Hídrica y Geología, junto con Parámetros de Calidad del Agua, donde inicialmente se analizaron 51 parámetros, 24 fueron seleccionados tras procesos de depuración y consistencia en el análisis estadístico.

La ponderación de los PME mediante Proceso Analítico Jerárquico (AHP) identificó a la Densidad Poblacional y al Uso del Suelo como los factores de mayor influencia potencial. El análisis de correlación de Pearson, aplicado por campañas hidrológicas (estiaje y avenida), evidenció asociaciones altas y significativas entre los parámetros urbanos y poblacionales con indicadores orgánicos y microbiológicos (DBO_5 , DQO, Coliformes Termotolerantes y *Escherichia Coli*) $|r| > 0.75$, especialmente durante la temporada de estiaje. Estos patrones fueron confirmados mediante análisis de conglomerados y análisis discriminante, que permitieron identificar los PME con mayor capacidad explicativa bajo diferentes condiciones hidrológicas.

Adicionalmente, la incorporación de distancias radial, paralela e hidrológica demostró que la distancia hidrológica presenta el mejor desempeño explicativo. Los modelos de regresión lineal múltiple, aplicados a parámetros individuales y al Índice de Calidad Ambiental del Recurso Hídrico (ICARHS), mostraron una capacidad predictiva moderada ($R^2 > 0.45$), confirmando que la calidad del agua es regida por la interacción multiescalar entre actividades antrópicas con limitada gestión ambiental y de recursos hídricos con la conectividad hidrológica.

Palabras clave: Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos, Distancia Hidrológica, Análisis de Discriminante, Regresión Lineal Múltiple e Intercuenca Alto Huallaga.

ABSTRACT

In this research the influence of the parameters on a macro scale (PME – acronym in Spanish) on the quality of the surface water from the upper Huallaga interbasin was evaluated; integrating multivariate statistical analysis, geospatial information and predictive modeling on a large scale. The study was carried out within eighty one hydrographic sub-units, the PME of which were: soil use, population density, hydric erosion, and geology, together with the water quality parameters, where fifty one parameters were initially analyzed [and] twenty four were selected after the depuration and consistency with the statistical analysis processes.

From the weighing of the PME using the analytical hierarchy process, the population density and the soil use were identified as the factors with the greatest potential influence. The Pearson correlation analysis, applied using hydrological campaigns (drought and flood), evidenced high and significant associations between the urban and population parameters with organic and microbiological indicators (BOD (DBO₅ in Spanish), DQO, thermotolerant coliforms, and Escherichia Coli) $|r|>0.75$, especially during the drought season. These parameters were confirmed using the conglomerates analysis and the discriminant analysis, which allowed for the PME with the greatest explanatory capacity to be identified under different hydrological conditions.

Additionally, the incorporation of radial, parallel and hydrological distances demonstrated that the hydrological distance had the greatest explanatory performance. The multiple linear regression models, applied to individual parameters and the environmental quality index of the water resource (ICARHS – acronym in Spanish), revealed a moderate predictive capacity ($R^2>0.45$), confirming that the water quality was restricted by the multi-scale interaction between the anthropic activities with limited environmental management and hydric resources with hydrological connectivity.

Keywords: environmental quality index of water resources, hydrological distance, analysis of the discriminant multiple linear regression, upper Huallaga interbasin

I. INTRODUCCIÓN

A nivel global la se está atravesando la crisis de la contaminación y baja disponibilidad del agua, conllevando a conflictos socioambientales para su uso y aprovechamiento, tanto en aguas superficiales y subterráneas; razón por el cual la ONU implemento políticas orientadas a la Gestión de los Recursos Hídricos buscando mitigar las causas que lo generan, empleando mecanismos de control, fiscalización, y monitoreo de la calidad del agua.

En tal sentido, determinar la calidad del agua es una necesidad publica, por lo que en el Perú organismos gubernamentales como la Autoridad Nacional del Agua-ANA, y otras entidades relacionadas a la Salud Pública, realizan constantemente monitoreos, fiscalizaciones y/o mediciones de los parámetros de la calidad del agua superficial, cuyos costos son elevados, y los resultados de estos no han sido asociados a variables geoespaciales (Parámetros de Macro-Escala) como el Uso del Suelo, Erosión Hídrica, Geología y Densidad Poblacional que influyen en la calidad del agua.

En la Intercuenca Alto Huallaga-ICAH, la ANA estableció puntos de monitoreo como resultado de la identificación de fuentes contaminantes, que lo realizan periódicamente cada 7 años, en las que se identifican vertimientos de aguas residuales, botaderos, efluentes agrícolas y mineros; cuyos últimos reportes de monitoreo de calidad del agua (periodo 2018-2021) evidenciaron que para los cuerpos de agua, los parámetros de *Escherichia Coli*, Coliformes Termotolerantes, Aceites y Grasas, Detergentes aniónicos, DQO, pH, Mn, DBO, Fe, Pb, Hg, Cuy Al transgreden los Estándares de Calidad del Agua, los cuales podrían estar relacionado con la Densidad Poblacional y el Uso del Suelo; tal como se han demostrado en investigaciones de Farshid et al. (2018), Cheng et al. (2022) y Corroto et al. (2018).

Así mismo, diversas instituciones públicas de enfoque técnico científico del Perú y el mundo, han generado y generan constantemente información geoespacial de la cuantía de la población (INEI), Uso del suelo (ESRI, MINAM y GORES), Geología (INGENMET y USGS), erosión Hídrica (SENMAHI y FAO) y de los parámetros de calidad del agua e Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos(ANA), para la ICAH los cuales son de acceso libre y fueron empleados para la presente investigación.

Entonces, la determinación de la relación de los PME y la Calidad del Agua ofrecerá un conocimiento de nivel relacional de las variables geoespaciales a fin de corroborar en los diferentes tramos de los cuerpos de agua, que logran o no una la autodepuración antes de su

posible uso. Asimismo, sirve como una herramienta simultánea a la clasificación de cuerpos de agua para tomar decisiones de orden físico en cuanto a la disposición o manejo de los recursos naturales o antrópicos que incidirán finalmente en la oportunidad de la calidad del agua para el hombre.

Es por ello, que la presente investigación tuvo como finalidad resolver la interrogante ¿los Parámetros Macro Escala (Uso de Suelo, Erosión Hídrica, Geología y Densidad Poblacional) influyen en los Parámetros de Calidad de Agua de la Intercuenca Alto Huallaga?, planteándose como hipótesis que los Parámetros de Macro Escala: como el Uso de Suelo y la Erosión Hídrica; influyen en la calidad del agua, sobre los parámetros de *Escherichia Coli*, Coliformes Termotolerantes, Conductividad eléctrica y los Sólidos Suspendedos Totales.

1.1. Objetivo General

Evaluar la relación de los Parámetros de Macro Escala (PME) y la Calidad del Agua en la Intercuenca Alto Huallaga en el periodo 2018-2021.

1.2. Objetivos Específicos

- Analizar la relación de los Parámetros de Macro Escala-PME (Uso del Suelo, Erosión Hídrica, Geología y Densidad Poblacional) y los Parámetros de Micro Escala de Calidad del Agua (PMECA).
- Evaluar la influencia de la distancia del recorrido Hidrológico en la relación entre los PME y los PMECA.
- Desarrollar el modelo predictivo de calidad del agua en función de los PME, empleando Regresión Lineal Múltiple (RLM).

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

2.1.1. Internacionales

En la cuenca del río St. Johns del estado de Florida, EE. UU. Ouyang (2005) demostró que la aplicación del Análisis de Componentes Principales (ACP) y el Análisis de Factores Principales (AFP) al estudio de calidad del agua puede generar ahorros significativos al lograr reducir de 22 estaciones de monitoreo a 19; para dicha investigación emplearon data de 3 años de monitoreo (1999-2001) en la que examinaron 42 parámetros de calidad del agua donde los datos de estas estaciones fueron recolectados en diferentes horas del día y/o diferentes días del año. Así mismo para el análisis estadístico emplearon el programa Statistical Analysis System en la que se obtuvo un coeficiente de correlación factorial mayor que 0,75 al que el autor considero significativo; sin embargo, el autor recomendó que es necesario trabajar con data de parámetros mayor a tres años de medición para reducir tener una mejor correlación y optimizar los parámetros de calidad del agua y puntos de monitoreo.

Por otra parte, Bostanmaneshrad et al. (2018), en su investigación titulada “Relación entre la calidad del agua y los Parámetros de Macro-Escala (uso del suelo, erosión, geología y densidad de población) en la cuenca del río Siminehrood”, asumieron el objetivo principal de evaluar la relación entre los PME y Variables de Calidad del Agua a Micro-Escala en la cuenca del río Siminehrood por medio del análisis de correlación, de conglomerados y el discriminante de Pearson. Se utilizaron 13 parámetros de calidad del agua en 15 estaciones durante tres temporadas. El estudio demostró relaciones significativas entre el uso de suelo y el fósforo, los sólidos totales y la turbidez, los niveles de erosión y la conductividad eléctrica, y finalmente la erosión y sólidos totales.

En la cuenca Werii de Etiopia, Haftu y Estifanos (2020) investigaron los efectos de la geología local en las características fisicoquímicas y concentración de metales pesados de la calidad del agua superficial; para lo cual recolectaron 27 muestras de agua y analizaron 17 parámetros fisicoquímicos como son: Temperatura, Conductividad, Sólidos Disueltos Totales, Sólidos Totales, Sólidos Suspendidos Totales, Salinidad, Turbidez, pH, Metales Pesados (As, Cd, Co, Cu, Cr, Fe, Ni, Pb y Zn). Para ello realizaron comparaciones espaciales y estadísticas, como el Análisis de Componentes Principales y Varimax con Normalización Kaiser donde la Rotación convergió en 7 iteraciones produciendo cinco factores;

en dicha investigación se reveló que Cr, Zn, Cu y la turbidez están asociados con las pizarras de Werii, Fe, As, Ni y Co están asociados con Tsedia Slate y la EC, TS, TSS y Co se atribuyen al basalto Aiba, arenisca Adigrat, Werii Slates y Tsedia Slates respectivamente, por lo que demostraron que la geología local tiene un rol importante en el control de las características físicoquímicas y las cargas de metales pesados del agua.

Por otra parte, Cheng et al. (2022) en el trabajo de investigación titulado “¿Cuál es la relación entre el uso de suelo y la calidad del agua superficial? Una revisión y perspectivas desde la perspectiva de la teledetección” tuvo como objetivo determinar el efecto del Cambio del Uso del Suelo sobre la Calidad del Agua, para lo cual realizaron el análisis de múltiples trabajos de investigación de la base de datos Web of Science y empleando la plataforma VOS Viewer 1.6.15 por lo que formaron cuatro grupos en relación a las palabras clave que son: Puntos críticos de investigación en relación a la calidad del agua, temas de interés con el uso del suelo, medios para monitorear la calidad del agua siendo el punto nodal la teledetección, y finalmente cuerpos estructurales de investigación relacionada al tema. Como resultado de su investigación encontraron que los usos de suelo: Uso Agrícola, Forestal y Urbano, tienen mayor frecuencia de relación con la calidad del agua en los múltiples estudios investigados; los análisis estadísticos empleados fueron: análisis de correlación Pearson y Sepearman, análisis de componentes principales; así mismo una vez discriminados las variables no relacionadas se desarrolló la regresión lineal con el fin de establecer el modelo de correlación, posteriormente realizaron el análisis de redundancia para determinar las relaciones positivas/negativas entre las características del paisaje y los parámetros de calidad del agua y análisis de regresión espacial multivariado. Respecto al análisis de teledetección desarrollaron el análisis de cobertura de suelo a diferentes niveles de escala.

Doaemo et al. (2023) recientemente publicó su investigación titulada “Evaluación de los impactos de los factores ambientales y antropogénicos en la calidad del agua en la cuenca del río Bumbu, Papua Nueva Guinea” donde evaluaron el efecto de los factores ambientales y antropogénicos en la calidad del agua en el río Bumbu, en la que emplearon datos de 22 estaciones de muestreo e información geoespacial como el grado de urbanización. El Índice de Calidad del Agua empleado fue el CCME donde los parámetros de calidad del agua analizados fueron: pH, sólidos disueltos totales (TDS), conductividad, turbidez, alcalinidad, calcio, magnesio, dureza total, mercurio, manganeso, hierro, y Escherichia Coli; se aplicaron técnicas geoespaciales, análisis de componentes principales y análisis de regresión para determinar la relación de las variables de estudio (precipitación – escorrentía, uso de suelo,

patrones de corriente, límites de cuenca y encuestas comunitarias) con la calidad del agua. El uso de suelo fue clasificado en cinco tipos: bosque denso, bosque regenerado, espacio verde, semiurbano y altamente urbano; mientras que las encuestas se realizaron con la finalidad de evaluar los factores y tendencias (sociales, económicos y ambientales) relacionados con el uso del agua para lo cual entrevistaron a 1100 personas dentro de la cuenca del río Bumbu. Como resultado del análisis de regresión directa de CCME- WQI con el uso del suelo indicaron que no están correlacionados; ya que los valores de uso de suelo variaron de -0,289 a +0,222, concluyendo así que la variación en la calidad del agua se debe o responde a factores distintos del uso del suelo.

2.1.2. Nacionales

Flores (2017) empleo el Análisis Multivariado para analizar la red de monitoreo de calidad del agua instalada en la cuenca del río Jequetepeque, cuya base de datos fueron los parámetros analizados por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) en el periodo 2015-2016 en las épocas de estiaje y avenida en los meses de mayo-junio y setiembre-octubre respectivamente; así mismo la cantidad de estaciones vario en los dos años entre 18 y 20 y el número de parámetros analizados fueron 48. Las técnicas de Análisis Factorial y Análisis de Conglomerados Jerárquicos (ACJ) se emplearon satisfactoriamente. Así mismo el autor concluye que logro identificar presencia de metales traza y coliformes fecales en la parte alta de la cuenca, así también grupos de parámetros asociados a la salinización en la parte baja y en todo el recorrido los sólidos suspendidos; esto guardando relación con las características geológicas y antropogénicas de la cuenca estudiada.

Pino et al. (2017) desarrollaron una investigación titulada “Efecto de las características ambientales y geológicas sobre la calidad del agua en la cuenca del río Caplina, Tacna, Perú”, para lo cual emplearon información del Proyecto Especial Tacna (PET), ANA, el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) y el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET); la información de calidad del agua agrupo una base de un total de 64 030 datos de 331 monitoreos en 59 unidades hidrográficas en el periodo 2000-2012, en la que consideraron los parámetros físicos y químicos (pH, conductividad eléctrica y DBO), microbiológico (Coliformes Termotolerantes), metaloides (arsénico) y metales (Mercurio, Cadmio, Plomo, Hierro y Cobre). La cartografía geológica fue empleada para identificar las formaciones que influyen sobre la calidad de agua en la cuenca Caplina, tal como el grupo Barroso, constituido por rocas andesíticas y dacíticas con alto contenido de Hierro; en tanto que la formación Huilacollo estuvo constituida por brechas andesíticas, tobas dacíticas y

riodacíticas; la formación Toquepala por rocas andesíticas; la unidad intrusiva Challaviento por rocas ácidas (granodiorita y monzodiorita), y la formación Junerata, por coladas basálticas y andesitas. Por otra parte, el autor concluyo que el Arsénico, Boro, Hierro y Aluminio son parámetros que la concentración es inversamente proporcional al caudal del agua, como ejemplo el Arsénico de 0,31 mg/L en épocas de estiaje y 0,055 mg/L en temporadas de lluvia y el hierro que paso de 124.7 mg/L en estiaje a 9.54 mg/L en temporadas de lluvia. Finalmente concluyeron que las fuentes que tienen mayor influencia sobre la calidad de agua son la fuente geotermal Aruma y Paralocos, por emanar aguas con alto contenido de arsénico (1.43 mg/L), plomo (0.22 mg/L) y sodio (296.72 mg/L)

En la cuenca del río Utcubamba del departamento de Amazonas, Corroto et al. (2018) realizaron la evaluación multivariada de la calidad del agua en 43 estaciones con la finalidad de reducir esta cantidad y el número de variables de muestreo, las mismas que se encontraban situadas en el cauce principal; la información que emplearon corresponde a tres campañas de monitoreo en el periodo 2014-2015. El análisis multivariado consistió en aplicar los métodos de Análisis de Componentes Principales y Análisis Clúster, para sintetizar la información entre las variables establecidas y eliminar la colinealidad entre ellas, creando nuevas variables (componentes principales CP) que no están correlacionadas. Las descargas de aguas residuales domésticas y de ganado están fuertemente asociadas a los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos como la DBO, DQO y Coliformes Fecales; por otra parte, las altas concentraciones de Nitratos, Fosfatos, Nitritos y Conductividad Eléctrica evidenciaron la contaminación por aguas residuales de la piscicultura y agricultura. Finalmente, en dicha investigación encontraron que existe una fuerte correlación entre la Dureza y la Alcalinidad en las zonas de gran aporte geológico, sobre todo por la presencia de calcitas y dolomitas.

Alderete (2022), en su tesis llamada “Evaluación de la calidad de aguas superficiales en la cuenca del río Rímac mediante análisis multivariado para el período 2011-2018” tuvo como objetivo evaluar la calidad del agua superficial en la cuenca del río Rímac, período 2011–2018, a través de las técnicas estadísticas como el análisis de conglomerados jerárquico (ACJ) y análisis de componentes principales (ACP). Trabajó con datos de 8 años (2011-2018) de monitoreo de la calidad del agua, analizando a 21 parámetros en 24 estaciones de vigilancia. La autora concluyó que el análisis de conglomerados jerárquico (ACJ) determinó que los pares de parámetros SST-Fe, Cd-Zn, Mn-Sb, Mn-Mg y Sb-Mg, Ca-Mg, y DQO-DBO, expresaron fuertes vínculos entre sí, asimismo el análisis de componentes principales (ACP) permitió conocer las principales fuentes de contaminación de la cuenca del río Rímac, siendo

estas las descargas domésticas e industriales, la actividad minera, pasivos mineros, la agricultura, la ganadería, los residuos de construcción y los botaderos.

Como es de importancia para esta investigación, es importante mencionar que en el Perú se trabajó la cartografía de geología nacional en el periodo 1960-1999 a una escala 1:100 000 el cual estaba integrada por 501 cuadrángulos o cuadrículas que cubren todo el territorio peruano; posteriormente se inició un programa de revisión y actualización de estas cuadrículas (2003-2006) y desde ahí se viene actualizando constantemente la información geológica, por lo que actualmente se cuenta con cuadrículas a escala de 1:100 000 y 1: 50 000 (mayor detalle). Así mismo, el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET) como ente competente en materia de geología en el país, publicó el mapa nacional de geología en la en su versión 2021 para una escala 1:100 000 en todo el territorio peruano (INGEMMET, 2023), el cual será empleado en la presente investigación, en el ámbito de la intercuenca Alto Huallaga.

2.1.3. Locales

En la Intercuenca Alto Huallaga, conocido como parte alta de la cuenca del río Huallaga, la Autoridad Nacional del Agua (2014), elaboró el Informe Técnico N° 064-2014-ANA-DGCRH/GOCRH, en la que se dio a conocer los resultados del primer monitoreo participativo de la calidad del agua superficial; donde analizaron parámetros físicos, químicos, microbiológicos y metales pesados en 47 puntos de monitoreo, este proceso estuvo regido por la normativa nacional de ese entonces (Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM) que implementaba los Estándares nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua. La ANA desarrollo un trabajo previo de identificación de fuentes contaminantes, categorización de cuerpos de agua, coordinación técnica y logística en toda la parte alta de la cuenca del río Huallaga, identificando así, tres categorías de cuerpos de agua: Categoría 1-A2 (agua que puede ser potabilizada con tratamiento convencional), Categoría 3 (agua de riego de vegetales y bebida de animales) y Categoría 4 (conservación del ambiente acuático para ríos de la selva). Por otra parte, los resultados del monitoreo de calidad del agua indicaron que la presencia de Coliformes Termotolerantes y Nitrógeno Amoniacal superaban los ECA de agua en los ríos Huallaga, Huertas, Tulumayo, Aucayacu, Monzón y Lomas Largas producto del vertimiento de aguas residuales domésticas, mientras que Solidos Suspendidos Totales y metales pesados como el Plomo, Zinc y Cobre se debe a la presencia de erosión de suelos originados por lluvias.

Carrión (2018), desarrollo su tesis de pregrado en una parte del ámbito de la Intercuenca Alto Huallaga, desde la naciente del Rio Huallaga hasta la ciudad de Tingo María; donde analizó la relación de la degradación del suelo y la hidrología de bosques; para lo

cual aplico la Ecuación Universal de Perdida de Suelo (USLE) para calcular la tasa de erosión fluvial y aplicó el modelo GR2M para calcular el caudal hidrológico para los años 1990, 2005, 2014 y 2017; usó herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para procesar los datos espaciales, tales como: el Modelo de Elevación Digital (DEM) obtenido del ASTER (The Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) desarrollado por la NASA (U.S. National Aeronautics and Space Administration), Mapa de Cobertura Vegetal elaborado por el Ministerio de Ambiente del Perú (2015), información hidrológica de 8 estaciones meteorológicas del SENAMHI y Mapa de Información Mundial de Suelo publicado en el año 2009 por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). En el resultado de esta investigación el autor indica que existe una relación directa entre el caudal y la erosión anual, ya que para los años 1990, 2014 y 2017 ambos parámetros incrementan; por lo tanto, existe una dependencia en el incremento de la erosión respecto a la producción de escurrimiento dentro de la cuenca.

2.2. Calidad del Agua

Esvabard Polar Iceberg Water (20223) define a la calidad del agua como la idoneidad del agua para sus diferentes usos acorde a sus propiedades físicas, químicas, biológicas y organolépticas, el cual posee regulaciones estatales en cada ámbito territorial. Así mismo la National Oceanic y Atmospheric Administration (2023) coincide que la calidad del agua se determina en función del propósito que se le dará al agua, cuyos fines pueden ser para el consumo humano, recreativo o ecosistémico cuyas características químicas, físicas y biológicas no deben generar riesgos para la salud del hombre y los ecosistemas.

En tal sentido, hablar de calidad del agua es complejo y diverso, por lo que cada región del mundo o país desarrollaron estándares de calidad del agua (Water Quality Standards). Por esta razón, EPA (2023) expresa que los estándares de calidad del agua se establecen en función de los usos designados de un cuerpo de agua, criterios para proteger los usos designados y los requisitos contra la degradación para proteger los usos existentes y las aguas de alta calidad o valor

2.2.1. Estándares de Calidad del Agua

Son dispositivos legales, territoriales, tribales (originarios) autorizadas o federales que describen la condición deseada de un cuerpo de agua y los medios por los cuales se protege (Environmental Protection Agency, 2023). Por otra parte, (Russell, 2016) mencionó que, para mantener un nivel aceptable de contaminantes en el agua, un gran número de países disponen de estándares de calidad del agua que difieren ampliamente de un lugar a otro y

dependen del uso que se le dé, ya sea para suministro de agua potable, uso recreativo, pesca, etc. Los estándares de la Organización Mundial de la Salud (OMS) son sugerencias “pautas” de calidad para el agua potable que carecen de algún peso jurídico, ya que la OMS no tiene competencias de autoridad soberana sobre algún país; sin embargo, estos estándares son empleados por diversos países del mundo, donde la Unión Europea y la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA) son más estrictos en cuanto a concentración de contaminantes se refiere.

Tabla 1. Estándares de calidad del agua para el suministro de agua potable.

Elemento/Sustancia	Unidad	OMS	USEPA
Aluminio (Al)	mg/L	0.2	**
Amoníaco	mg/L	**	**
Antimonio (Sb)	mg/L	0.005	0.006
Arsénico (As)	mg/L	**	0.01
Bario (Ba)	mg/L	0.3	2
Berilio (Be)	mg/L	**	0.004
Boro (B)	mg/L	0.3	**
Cadmio (Cd)	mg/L	0.003	0.005
Cianuro Total	mg/L	0.07	0.2
Cloro	mg/L	250	**
Cobre (Cu)	mg/L	2	1.3
Color (b)	Escala Pt/Co	**	**
Cromo (Cr)	mg/L	0.05	0.1
Estaño (Sn)	mg/L	0.5	**
Flúor	µg/L	1.5	4
Hierro (Fe)	mg/L	**	**
Manganeso (Mn)	mg/L	0.5	**
Mercurio (Hg)	mg/L	0.001	0.002
Molibdeno (Mo)	mg/L	0.07	**
Níquel (Ni)	mg/L	0.02	**
Nitratos (NO ₃)	mg NO ₃ -/L	**	10
Nitritos (NO ₂ ⁻) (d)	mg/L	**	1
Nitrógeno Total	mg/L	50	
Plomo (Pb)	mg/L	0.01	<0.015
Selenio (Se)	mg/L	0.01	
Sulfatos SO ₄ -2	mg SO ₄ -2/L	0.2	**
Zinc (Zn)	mg/L	1.4	**

Fuente: Russell (2016). ** Sin Valor de Referencia.

En el Perú, durante el año 2017 el Diario Oficial El Peruano publicó el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, en donde se aprobaron los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para el Agua, correspondiente a cuatro categorías y catorce subcategorías como se muestra en la tabla 1.

Tabla 2. Clasificación de categorías y subcategorías de los Estándares de Calidad Ambiental del Agua en el Perú

Categoría		Subcategoría		
N°	Símbolo	Descripción	Código Descripción	
1	A	Poblacional (Agua para la 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	Recreacional	B1	Contacto Primario
			B2	Contacto Secundario
	2	C	Extracción, Cultivo y otras actividades marino costeras y continentales	C1
C2				Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras
C3				Actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras
C4				Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas
3	D	Riego de Vegetales y bebida de Animales	D1	Riego de Vegetales
			D2	Bebida de animales
4	E	Conservación del Ambiente Acuático	E1	Lagunas y Lagos
			E2	Ríos
			E3	Ecosistemas costeros y marinos

Fuente: Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

2.2.2. Parámetros de calidad del agua en la Intercuenca Alto Huallaga

Los parámetros de los Estándares de Calidad Ambiental del Agua analizados en la Intercuenca Alto Huallaga, fueron desarrollados en cumplimiento al D. S. N° 004-2017-MINAM, por parte de la Autoridad Nacional del Agua (ANA); las Categorías de los cuerpos de agua que la componen, fueron clasificados por la ANA en marco del Artículo 4° de la citada norma; así mismo la ANA en el Informe Técnico N° 0030-2021-ANA-AAA.H/FTD para la intercuenca Alto Huallaga evaluos los Categorías 3 y 4 en la que se analizaron los parametros fisicos-quimicos, inorganicos y microbiologicos tal como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Parámetros evaluados por la ANA en los monitoreos participativos de Calidad del Agua.

Parámetros	Unidades	Categoría 3		Categoría 4	
		D1	D2	E2	E1
Físico-químicos					
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6.5-8.5	6.5-8.4	6.5-9.0	6.5-9.0
Temperatura	°C	Δ3	Δ3	Δ3	Δ3
Oxígeno Disuelto (Valor Mínimo)	mg/L	≥4	≥5	≥5	≥5
Conductividad	μs/cm	2500	5000	1000	1000
Aceites y Grasas	mg/L	5	10	5	5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	15	15	10	5
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40	40	**	**
Detergentes (SAAM)	mg/L	0.2	0.5	**	**
Fósforo Total	mg/L	**	**	0.05	0.035
Nitrógeno Amoniacal	mg NH ₃ -N/L	**	**	**	**
Nitrógeno Total	mg/L	**	**	**	**
Sólidos Totales Suspendidos	mg/L	**	**	≤ 400	≤ 25
Sulfuros	mg/L	**	**	0.002	0.002
Cloruros	mg/L	500	**	---	---
Nitratos (NO ₃)	mg NO ₃ -L	**	**	13	13
Nitratos. (como N)	mg NO ₃ -N/L	**	**	---	---
Sulfatos SO ₄ -2	mg SO ₄ -2/L	1000	1000	---	---
Inorgánicos					
Plata (Ag)	mg/L	**	**	---	---
Aluminio (Al)	mg/L	5	5	---	---
Arsénico (As)	mg/L	0.1	0.2	0.15	0.15
Boro (B)	mg/L	1	5	---	---
Bario (Ba)	mg/L	0.7	**	1	0.7
Berilio (Be)	mg/L	0.1	0.1	---	---
Bismuto (Bi)	mg/L	**	**	---	---
Calcio (Ca)	mg/L	**	**	---	---
Cadmio (Cd)	mg/L	0.01	0.05	0.00025	0.00025
Cobalto (Co)	mg/L	0.05	1	---	---
Cromo (Cr)	mg/L	0.1	1	0.011	0.011
Cobre (Cu)	mg/L	0.2	0.5	0.1	0.1
Hierro (Fe)	mg/L	5	**	---	---
Mercurio (Hg)	mg/L	0.001	0.01	0.0001	0.0001
Potasio (K)	mg/L	**	**	---	---
Litio (Li)	mg/L	2.5	2.5	---	---
Magnesio (Mg)	mg/L	**	250	---	---
Manganeso (Mn)	mg/L	0.2	0.2	---	---
Molibdeno (Mo)	mg/L	**	**	---	---

Sodio (Na)	mg/L	**	**	---	---
Níquel (Ni)	mg/L	0.2	1	0.052	0.052
Plomo (Pb)	mg/L	0.05	0.05	0.0025	0.0025
Antimonio (Sb)	mg/L	**	**	**	**
Selenio (Se)	mg/L	0.02	0.05	0.005	0.005
Silicio (Si)	mg/L	**	**	---	---
Estaño (Sn)	mg/L	**	**	---	---
Estroncio (Sr)	mg/L	**	**	---	---
Titanio (Ti)	mg/L	**	**	---	---
Talio (Tl)	mg/L	**	**	0.0008	0.0008
Uranio (U)	mg/L	**	**	---	---
Vanadio (V)	mg/L	**	**	---	---
Zinc (Zn)	mg/L	2	24	0.12	0.12
Microbiológicos					
Coliformes Termotolerantes	NMP/100ml	1000	1000	2000	1000
Escherichia Coli	NMP/100ml	1000	**	---	---

Fuente: Autoridad Nacional del Agua (2021). ** No aplica estándar en la subcategoría. NMP: es el Numero probable de Microorganismos.

2.2.3. Índices de Calidad del Agua

Los Índices de Calidad del Agua conocidos como ICA, según Torres et al. (2009) son la expresión simple de una combinación compleja de un determinado número de parámetros que representan el estado de la calidad del agua; el cual puede ser representado por un número, un rango, una descripción verbal, un símbolo o incluso un color.

Por otra parte, Chidiac et al. (2023) menciona que desde 1978 hasta el 2022 Los estudios del ICA han crecido significativamente durante la última década, siendo China, India y Estados Unidos los países que más estudios han desarrollado con un total de 2356, 1678 y 1241 estudios, respectivamente.

Según Paun et al. (2016) citado por Chidiac et al. (2023), en el planeta, hay muchos índices de calidad del agua, como: el Índice de calidad del agua de la Fundación Nacional de Saneamiento (NSFWQI), el Índice de calidad del agua del Consejo Canadiense de Ministros de Medio Ambiente (CCMEWQI), el Índice de calidad del agua de Oregón (OWQI) y el Índice de calidad del agua aritmética ponderada (WAWQI) que son empleados en diferentes estudios de calidad del agua. Sin embargo, estos índices no son de aplicación universal debido a que cada región es diferente por lo que surgen ICA's regionales o de cada país que representan mejor la calidad del agua (Chidiac et al., 2023).

Nitritos			X							
Amoniaco				X						
Fosfatos	X									
Sodio				X						
Sulfatos				X						
Hierro				X						
Cobre			X							
Boro			X							
Níquel									X	
Cianuro					X					
Selenio					X					
PFTHM									X	
Aluminio Disuelto									X	
Cobre Disuelto									X	
Hierro Disuelto									X	
COT							X			
Total, de Parámetros	9	12	11	7	12	6	9	11	6	10

Fuente: Torres et al. (2009)

Por otra parte, Uddin et al. (2021) realizaron una revisión de los modelos de índices de calidad del agua superficial más utilizados a nivel mundial, donde encontraron que los cinco ICA's más empleados a nivel mundial son: Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME), National Sanitation Foundation (NSF), Fuzzy Interference System (FIS), Municipal Water Quality Investigation Program (MWQI) y Horton que se representa en la Tabla 5; concluyeron también que todos los modelos existentes presentan problemas de imprecisión de datos, producto del uso de opiniones de expertos a la hora de determinar los parámetros a evaluar en el ICA, sin embargo se viene empleando satisfactoriamente el análisis de componentes principales, el análisis de conglomerados, sistemas de interfaz difusa y redes neuronales artificiales para mejorar la precisión en base a la ponderación de técnicas y parámetros del ICA.

Tabla 5. Índices de Calidad del Agua más aplicados

ICA	Tipo de Área de Estudio			Número de aplicaciones
	Río	Lago	Mar	
CCME	28	5	3	36
NSF	17	1	–	18
FIS	10	1	1	12
MWQI	6	1	1	8

Horton	6	–	1	7
SRDD	6	–	–	6
Bascarón	3	–	1	4
EQI	1	1	–	2
Oregón	2	–	–	2
Herrero	2	–	–	2
Almedia	1	–	–	1
BCWQI	1	–	–	1
Dálmata	–	–	1	1
Dojildo	1	–	–	1
Dinio	1	–	–	1
Índice Hanh	1	–	–	1
índice de la casa	1	–	–	1
Índice de Liou	1	–	–	1
Dicho	–	–	1	1
WJWQI	–	–	1	1

Fuente: Uddin et al. (2009)

Finalmente, Farshid et al. (2018), Torres et al. (2009) y Chidiac et al. (2023) mencionan que los ICA's permiten desarrollar análisis espacial y temporal de la Calidad del Agua en los diferentes escenarios. Por lo que se puede comparar resultados correlacionar la Calidad del Agua con otras variables, como es el caso de Farshid et al. (2018) que estudio la relación de la Calidad del agua mediante el Índice NSFQI con los Parámetros de Macro-Escala (Uso de Suelo, Erosión, Densidad Poblacional y Geología).

2.2.4. Índice NSF-WQI

El Índice de Calidad del Agua de la Fundación Nacional de Saneamiento (NSF- WQI) incorpora nueve parámetros en su evaluación: Turbidez, Sólidos Totales, Temperatura, pH, OD, DBO, Nitratos, Fósforo Total y Coliformes Fecales; además la fórmula para calcular el valor de este índice, equivale al producto de la multiplicación de “ Q_i ” valor del subíndice basado en la curva asignada para la i -ésima variable que tiene un rango de 0 a 100) por el Coeficiente de Ponderación “ W_i ” (Marselina et al., 2022)

Tabla 6. Estratificación del nivel de Calidad del Agua de acuerdo al NSFQI

Índice	Estado o Nivel de Calidad
91-100	Muy Bueno
71-90	Bueno
51-70	Regular
26-50	Malo
0-25	Muy Malo

Fuente: Marselina et al., 2022

2.3. Uso y cobertura del suelo

Según Rodríguez et al. (2010) el uso del suelo, es el conjunto de actividades que el ser humano desarrolla en relación con cierto tipo de cobertura, y está asociado con los fines sociales y económicos (agricultura comercial, ganadería intensiva, entre otros). Por su parte, García et al. (2019) expresa que existe una fuerte presión por generar cambios y tendencias diferenciadas que afectan el uso del suelo en las grandes urbes y en los pueblos cercanos, en el medio rural, urbano debido al proceso de urbanización que involucra a toda la población que busca mejores oportunidades, además su distribución de uso de suelo se puede calcular mediante los sistemas de información geográfica (SIG).

Rodríguez et al. (2010), define a la cobertura del suelo como la cubierta natural o producto del ser humano, por otra parte, el MINAM (2022), lo trabaja y/o estudia como cobertura vegetal, definiéndolo como la capa de vegetación natural que cubre la superficie terrestre, comprendiendo una amplia gama de biomásas con diferentes características fisonómicas y ambientales que van desde pastizales hasta las áreas cubiertas por bosques naturales.

Turner & Meyer (1991) citado por Peña et al. (2005), sintetiza que el uso de suelo (land use) se refiere al manejo de la cobertura por parte del hombre, mientras que la cobertura (land Cover) se refiere a la composición terrestre de una determinada superficie. En tal sentido Peña et al. (2005), considera que para fines prácticos es preferible integrar ambos términos haciendo uso de imágenes satelitales y encuestas; el cambio de cobertura obtenido en análisis multitemporales de imágenes satelitales evidencia que la acción del hombre sobre el territorio genera cambios en lo que concierne a urbanismo, agricultura, infraestructura, a su vez se origina por la propia naturaleza como, incendios, derrumbes y fenómenos climáticos.

2.3.1. Metodologías Land Cover

La cobertura del suelo (land Cover) de un determinado ámbito geográfico se obtienen por varios mecanismos de teledetección y uso de los Sistemas de Información Geográfica en la que se emplea data de los sensores remotos; para García y Mas (2008) las metodologías como: máxima verosimilitud, clasificador de contexto SMAP, perceptrón multicapa y metodología a priori, no presentan diferencia significativa en cuanto a sus resultados, sin embargo es metodologías no están estandarizadas a nivel global. Por otra parte, Posada y Salvatierra (2019) mencionan que en América latina, tanto en Colombia y Argentina se aplicaron metodologías Corine Land Cover (CLC) de la Unión Europea y Land Cover Classification System (LCCS) de la FAO respectivamente, donde concluyeron que CLC es muy

eficiente en grandes áreas de trabajo, el cual se enfoca en la vegetación principalmente, mientras que LCCS permite incorporar un número limitado de variables geofísicas provocando que las coberturas vegetales no tengan tanto detalle.

2.3.1.1. Metodología Corine Land Cover

Según el Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (2018), Corine Land Cover es un programa que proporciona información sobre la cubierta terrestre, el uso del suelo y sus cambios temporales, a una escala de 1:100 000 en un polígono mínimo de 25 Ha, su nomenclatura está compuesta por cinco grupos que se representa en la Tabla 7.

Tabla 7. Nomenclatura de clasificación de cobertura de suelo Corine Land Cover

Nivel 1		Nivel 2	
Cód.	Descripción	Cód.	Descripción
		1.1	Tejido Urbano
1	Superficies Artificiales	1.2	Unidades industriales, comerciales y de transporte
		1.3	Minas, basureros y sitios de construcción
		1.4	Áreas de vegetación artificial no agrícola
2	Áreas agrícolas	2.1	Tierra cultivable
		2.2	Cultivos permanentes
		2.3	Pastos
		2.4	Áreas agrícolas heterogéneas
3	Áreas forestales y seminaturales	3.1	Bosque
		3.2	Asociaciones de vegetación arbustiva y/o herbácea
		3.3	Espacios abiertos con poca o ninguna vegetación
4	Humedales	4.1	Humedales interiores
		4.2	Humedales costeros
5	Cuerpos de agua	5.1	Aguas continentales
		5.2	Aguas marinas

Fuente: Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (2018).

Por otra parte, el autor menciona que para poder desarrollar el mapa de cobertura empleando Corine Land Cover, se debe emplear como mínimo, dos imágenes satelitales a una escala mínima de 1:100 000, el cual se puede obtener de alguna fuente remota, en el que será necesario identificar los cambios de cobertura en las unidades que la componen.

2.4. Erosión hídrica

La erosión hídrica es la remoción del suelo por acción del agua, donde la precipitación es la causa principal y frecuente, en ella se producen tres fases que son: desprendimiento, transporte y deposición de sedimentos (Cisneros et al., 2012); depende de factores como: cantidad e intensidad de las precipitaciones, propiedades intrínsecas de los suelos, inclinación del área del terreno, vegetación y aplicación de medidas preventivas para la conservación del suelo (Huerta y Loli, 2014).

Por otra parte, según FAO (2014) citado por Camargo et al. (2017), para el periodo 1987-1990 encontró que 1.964 M ha (15 % de la superficie terrestre) estaba siendo afectada por alguna forma de degradación del suelo; donde la erosión hídrica era el factor más importante, que representaba el 55.6% de esta degradación (1 093.7 M ha). Así mismo Camargo et al. (2017) menciona que, en Estados Unidos, China, Australia, India, partes de Europa y Sudamérica presentan grados de erosión muy severa (Figura 1).

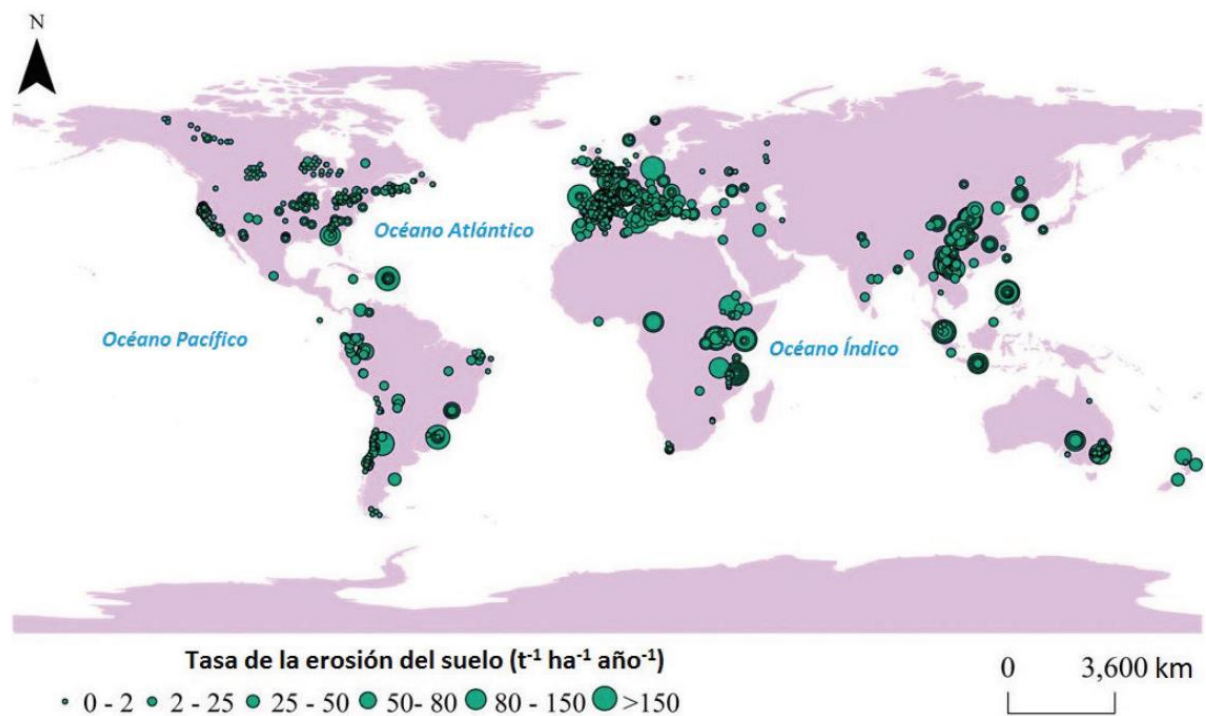


Figura 1. Tasas de erosión global. Fuente: Camargo et al. (2017).

En tal sentido, estudiar la relación de la erosión hídrica con la calidad del agua es significativo, ya que el suelo erosionado de los diferentes tipos de suelos llega a las aguas superficiales, con lo que se generan efectos negativos, así mismo la erosión hídrica transporta de 23 a 42 millones de toneladas de N y de 15 a 26 millones de toneladas de P (Organización

de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura & Grupo Técnico Intergubernamental del Suelo, 2015).

2.4.1. Tipos de erosión hídrica

Muchos autores difieren en cuanto a la cantidad de tipos de erosión hídrica, la Soil Science Society of America (s.f) considera tres tipos de erosión hídrica las cuales son: erosión laminar, erosión de riachuelos y erosión por cárcavas; mientras que Cisneros et al. (2012) incorpora 3 tipos, como son: erosión por salpicadura, erosión por surcos y erosión por remoción o movimientos en masa.

2.4.1.1. Erosión por salpicadura

Para Cisneros et al. (2012) este tipo de erosión depende de la intensidad de lluvia, estabilidad de los agregados superficiales y la cobertura, en donde las partículas del suelo se desprenden por acción de la lluvia.

2.4.1.2. Erosión Laminar

Es la pérdida de suelo de manera uniforme en toda la superficie del suelo, por acción del escurrimiento en forma de lámina, así mismo genera mayor pérdida de suelo que la erosión por salpicadura (Cisneros et al., 2012), la ecuación que le corresponde es la siguiente:

$$D_i = K_i \times i^2 \times S_f$$

Donde:

D_i : Tasa de erosión laminar en $\text{kg/m}^2\text{-s}$

K_i : Erodabilidad del suelo para erosión laminar en kg-s/m^4

i : Intensidad de lluvia en m/s

S_f : Factor de pendiente equivalente a $1.05 - [0.85 \times \exp(-4 \times \text{sen}P)]$, siendo P la pendiente en grados.

2.4.1.3. Erosión por Surcos

Es la pérdida de suelo por la fuerza de escurrimiento concentrado en surco, propiedades del suelo, erodabilidad y resistencia al corte, es decir se da cuando la fuerza de escurrimiento supera la fuerza de resistencia al corte, (Cisneros et al., 2012), la ecuación que le corresponde es la siguiente:

$$D_r = K_r \times (F_h - F_r) \times \left(1 - \frac{Q_s}{T_c}\right)$$

Donde:

D_r : Tasa de erosión en surcos en $\text{kg/m}^2\text{-s}$

- Kr : Erodabilidad del suelo para erosión en surcos en s/m
- Fr : Resistencia a la corte crítica, debajo de la cual no hay desprendimiento en “Pa”
- Qs : Contenido de sedimentos en flujo de escorrentía por surcos en kg/m-s
- Tc : Capacidad de transporte de sedimentos en los surcos en kg/m-s
- Fh : Fuerza de corte hidráulica del escurrimiento en “Pa”
- Pa : Es el producto de $d * g * r * s$ (d =densidad del agua en kg/m^3 , g =gravedad en m/s^2 , r =radio hidráulico del surco en m y s = gradiente hidráulico del flujo en surcos).

2.4.1.4. Erosión en cárcavas

Se genera por el escurrimiento de aguas en superficies de muy altas pendientes “barrancos”, depende del material del suelo y el grado de cohesión, donde el exceso de saturación de agua genera desprendimientos “caída de bloques”, Kirby y Morgan, (1994) citado por Cisneros et al. (2012).

2.4.1.5. Erosión por movimientos en masa

Es la pérdida de suelo por cambio en las propiedades mecánicas del sistema suelo-planta; así mismo este tipo de erosión se da en suelos someros, asentados sobre materiales impermeables como rocas graníticas en fuertes pendientes (Cisneros et al.,2012).

2.4.1.6. Erosión de cursos permanentes de agua

Es por la acción erosiva de la corriente de agua sobre sus márgenes, sobre todo en suelos desnudos o de poca vegetación (Cisneros et al., 2012).

2.4.2. Metodologías para determinar la erosión hídrica

Recientemente Sabino et al. (2021) aplicaron la Ecuación Universal de Pérdida del Suelo Modificada (RUSLE) para determinar la generación de sedimentos (erosión neta) en 46 cuencas hidrográficas del Perú, en ella consideraron la erosión laminar y en surcos. Por otra parte, Cisneros et al. (2012) para determinar la erosión hídrica, consideraba el modelo de USLE (Ecuación Universal de pérdida del suelo), dichos modelos dependen de la información climática y superficial que se disponga, finalmente en la actualidad, el USLE y RUSLE son modelos más aplicados a nivel mundial, (Risse et al.,1993, citado por Sabino et al., 2021).

2.4.3. Clasificación de los Niveles de erosión

Existen diversas clasificaciones de los niveles de erosión (grado) que van desde 0 a 100 y/o 200 $\text{t/ha} * \text{año}$, uno de ellos es lo establecido por Ramos (2001); Velásquez

(2008); Ramírez (2010) que fue aplicado en la investigación de Santillán (2023), a través del método USLE con SIG en la Microcuenca de Río Muchacho, tal como se muestra en la Tabla 8, el cual consta de siete intervalos en un rango de 0 a 200; por otra parte, Pérez (2001) citado por Castro et al. (2017) clasifica en 5 intervalos la pérdida del suelo por erosión hídrica, en un rango de 0 a 100, quien también empleo la metodología USLE en el país Colombiano, tal como se muestra en la tabla 9.

En tal sentido Campos et al. (2013), propone la aplicación de los criterios de Clasificación de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), en un rango de 0 a 200 en cinco clases tal como se muestra en la tabla 10.

Tabla 8. Estratificación de los niveles de erosión y pérdida de suelo en t/ha-año

Pérdida del Suelo (t/ha-año)	Categoría	Interpretación
0 – 5	Muy Baja	Suelos no susceptibles al proceso erosivo
5 – 10	Baja	Niveles de erosión bajos y pérdidas tolerables
10 – 25	Moderada	Zonas con procesos erosivos leves
25 – 50	Media	Zonas con pérdidas del suelo poco tolerables
50 – 100	Alta	Suelos con grados de erosión grave
100 – 200	Muy Alta	Sitios donde la erosión se aprecia con frecuencia
>200	Crítica	Zonas con procesos erosivos extremos

Fuente: Santillán (2023).

Tabla 9. Clasificación de los niveles de erosión y pérdida de suelo en t/ha-año

Pérdida del Suelo (t/ha-año)	Categoría
0 – 5	Muy Baja
5 – 10	Baja
10 – 25	Moderada
25 – 50	Media
>200	Crítica

Fuente: Castro et al. (2017).

Tabla 10. Evaluación de degradación y pérdida de suelo en t/ha-año

Clase	Pérdida del Suelo (t/ha-año)	Categoría
1	<10	Ninguna o Ligera
2	10-50	Moderada
3	50-100	Acusada
4	100-200	Alta
5	>200	Muy Alta

Fuente: Campos et al. (2013).

En esta última clasificación, el termino de erosión acusada, hace referencia a un tipo de erosión de carácter severo que es de alerta para los intereses de la población, tal como se trabajó en la investigación (Campos et al., 2013).

2.5. Densidad Poblacional

Bastidas (2011) y Ferrer-Paris (2016) coinciden en que la densidad poblacional es el resultado de la división de la población que ocupa una determinada área, entre la extensión de la misma, logrando así establecer una relación directa entre la población y el área que ocupa. Por otra parte, Ferrer-Paris (2016), explica que este dato, es de mucha utilidad para la planificación y gestión de recursos en educación, salud, conservación y recursos naturales. Así mismo, Liyanage y Yamada (2017), mencionan que la densidad poblacional es un factor muy importante que debe ser tomado en cuenta, cuando se analiza la calidad del agua; además determinaron una correlación positiva entre la variable densidad poblacional con los parámetros de calidad del agua, tales como: OD, DBO y Coliformes Totales (TC).

Por otra parte, Vargas (2011) considera que las poblaciones humanas generan modificaciones constantes y paulatinas al entorno natural, en este proceso intervienen un conjunto diverso de variables sociodemográficas, culturales, sociales, económicas e institucionales, además aclara que el crecimiento poblacional no necesariamente es un factor que repercute sobre el medio ambiente, por lo que la variable de densidad poblacional deberá ser analizada de manera exhaustiva en el campo de la demografía ambiental.

2.6. Geología y calidad del agua

La relación de la geología y la calidad del agua está estrechamente relacionada al aporte geoquímico de las rocas u otros materiales geológicos pertenecientes a la geología local de un determinado lugar, sobre los cuerpos de agua como parte del ciclo hidrológico; Baba y Gündüz (2017) indican que las rocas volcánicas influyen en el cambio de pH, así mismo la concentración de metales pesados en el agua se relaciona con la geología local.

Por otra parte, el Perú cuenta con carta geológica que están actualizadas al 2021 (INGEMMET, 2023), el cual es de acceso libre; en ella se evidenció que la intercuenca Alto Huallaga el Complejo Marañón abarca el 26.97% de la superficie, el cual está conformado por mica esquistos, gneis de micas-cuarzo-plagioclasas, gneis de granate-muscovita-biotita, y gneis de biotita-muscovita. El ámbito de esta formación geológica es desde la región de Pasco hasta la región de San Martín (parte alta de la cuenca del río Chontayacu), así mismo gran parte de la margen izquierda del río Huallaga en la provincia de Leoncio Prado tiene esta formación geológica; por lo que la composición de Al, Fe, Mg y Na son frecuentes en dicho ámbito.

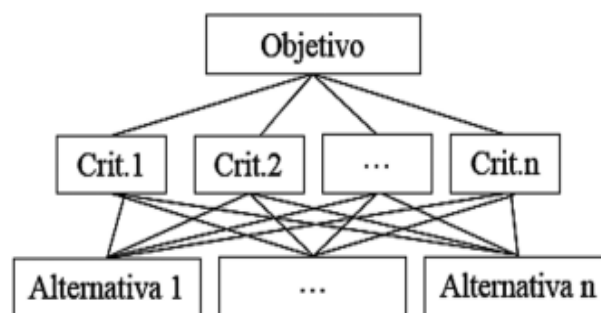
2.7. Análisis multivariado

Es el grupo de técnicas o métodos estadísticos que sirven para examinar un conjunto de variables para obtener información relevante, cuyas categorías principales son los métodos estadísticos multivariantes descriptivos y explicativos; donde los descriptivos permiten estructurar y resumir los datos multivariados sin enfatizar la importancia de alguna de estas variables (García, 2021).

2.7.1. Proceso de análisis jerárquico (AHP)

El proceso analítico jerárquico (Analytic Hierarchy Process o AHP por sus siglas en inglés), es una técnica que permite la representación de los juicios de valor, de los diferentes expertos, sobre una determinada investigación; los criterios que la componen en se clasifican diferentes niveles, (Figura 2). Por otro lado, debido a la ambigüedad misma de los criterios seleccionados para el juicio de expertos, es imposible priorizar las alternativas de acuerdo con dichos criterios. Dicho esto, se hace necesario utilizar una herramienta que permita los juicios subjetivos, pero al mismo tiempo reduzca la incertidumbre por la naturaleza de los juicios personales, tal es el caso del Análisis Jerárquico (Mendoza et al., 2018).

Figura 2. Estructura Jerárquica, Fuente: Mendoza et al. (2018).



Así mismo, Yepes (2018), sintetiza que el AHP es un método que selecciona alternativas en función de una serie de criterios o variables, normalmente jerarquizados, los

cuales suelen entrar en conflicto. En esta estructura jerárquica, el objetivo final se encuentra en el nivel más elevado, y los criterios y subcriterios en los niveles inferiores. En ese sentido, una vez definida la estructura jerárquica, se comparan los criterios de cada grupo del mismo nivel jerárquico y la comparación directa por pares de las alternativas respecto a los criterios del nivel inferior. Para ello se utilizan matrices de comparación pareadas usando una Escala Fundamental Tabla 11.

Tabla 11. Escala fundamental de comparación por pares (Saaty, 1980)

Valor	Definición	Comentarios
1	Igual Importancia	El criterio A es igual de importante que el criterio B
3	Importancia Moderada	La experiencia y el juicio favorecen ligeramente al criterio A sobre el B
5	Importancia grande	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente al criterio A sobre el B
7	Importancia muy grande	El criterio A es mucho más importante que el B
9	Importancia Extrema	La mayor importancia del criterio A sobre el B está fuera de toda duda
2,4,6 y 8	Valores Intermedios entre los anteriores, cuando es necesario matizar	

2.7.2. Regresión lineal multivariada

Granados (2016) consideró que la regresión lineal múltiple trata de ajustar modelos lineales o linealizables entre una variable dependiente y más de una variable independiente. Así mismo Rojo (2007) considero que el modelo de regresión lineal múltiple es idéntico al modelo de regresión lineal simple, con la única diferencia de que aparecen más variables explicativas, tal como se aprecia en la siguiente ecuación.

Finalmente, los autores consideraron que se deberán considerar los siguientes aspectos: Linealidad, Homocedasticidad, Independencia, Normalidad y las Variables son obtenidas sin errores de medida.

$$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + \dots + b_k \cdot x_k + u$$

2.7.3. Análisis de Conglomerados

Según Fernández (2011), el Análisis de Conglomerados conocido también como Análisis Clúster, es una técnica estadística multivariante que busca agrupar elementos (o variables) tratando de lograr la máxima homogeneidad en cada grupo y la mayor diferencia entre los grupos, es de aplicación en muchas áreas de investigación, siendo un método basado

en criterios geométricos y se utiliza fundamentalmente como una técnica exploratoria, descriptiva pero no explicativa.

2.7.4. Análisis de discriminante lineal

Es la metodología multivariada que permite distinguir dos o más conjuntos de datos basados en conjunto de variables cuantitativas, el cual es generado por una función discriminante o combinación lineal de variables (Garcia, 2021).

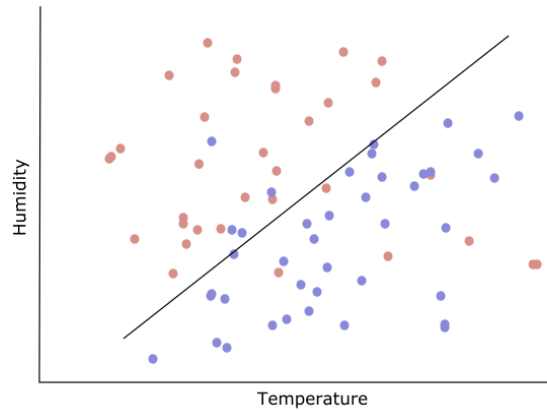


Figura 3. Gráfico de regresión lineal y línea discriminante, Fuente: Garcia (2018).

2.7.5. Análisis de componentes principales

Este análisis estadístico multivariado permite reducir la cantidad de dimensiones de un determinado conjunto de datos, tiene por finalidad la conservación de la variabilidad estadística (Jolliffe y Cádima, 2016). En la evaluación de la relación de las variables geospaciales sobre la calidad del agua Ouyang (2005), Farshid et al. (2018), Haftu y Estifanos (2020) emplearon esta metodología para reducir la cantidad de parametros de calidad del agua, y el numero de puntos de monitoreo.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

3.1.1. Ubicación del área de estudio

El área de estudio comprende la Intercuenca Alto Huallaga (ICAH), conocido como Parte Alta de la cuenca del río Huallaga, cuyo código Pfafstetter es 49849; está localizado en el norte de la zona central de Perú (Figura 4) cuyos rangos de latitud y longitud van desde 7°26' a 10°46'S y 75°39' a 77°18'O respectivamente; el cauce principal es el río Huallaga que nace en dos zonas de la región Alto Andina en el departamento de Pasco, en los distritos de Ninacaca y Simón Bolívar, del cual se escurre sus aguas en dirección norte hasta la región amazónica del departamento de San Martín en el distrito de Campanilla, con un recorrido de 618 km; el área de estudio de la ICAH es de 30,170 km² aproximadamente, con una altitud máxima y mínima de 5663 y 302 m.s.n.m respectivamente, posee una pendiente media de 43.60%, y fue seleccionada por su importancia a los 71 municipios distritales que la componen, actividad económica, pero sobre todo por la disponibilidad y el acceso a la información.

Tabla 12. Cantidad municipios distritales por provincia y departamento del área de estudio

Departamentos	Huánuco	La Libertad	Pasco	San Martín	Total
Ambo	8				8
Daniel Alcides Carrión			8		8
Dos De Mayo	1				1
Huacaybamba	2				2
Huamalíes	3				3
Huánuco	13				13
Leoncio Prado	10				10
Marañón	3				3
Mariscal Cáceres				4	4
Pachitea	4				4
Pasco			7		7
Pataz		1			1
Tocache				6	6
Yarowilca	1				1
Total	45	1	15	10	71

El departamento de Huánuco compone la mayor parte del área de estudio, con un 61.12% (18,439.49 km²), seguido por San Martín con un 26.69% (8,051.80 km²), Pasco con 7.88% (2,378.40 km²) y La Libertad con 4.31% (1,300.43 km²).

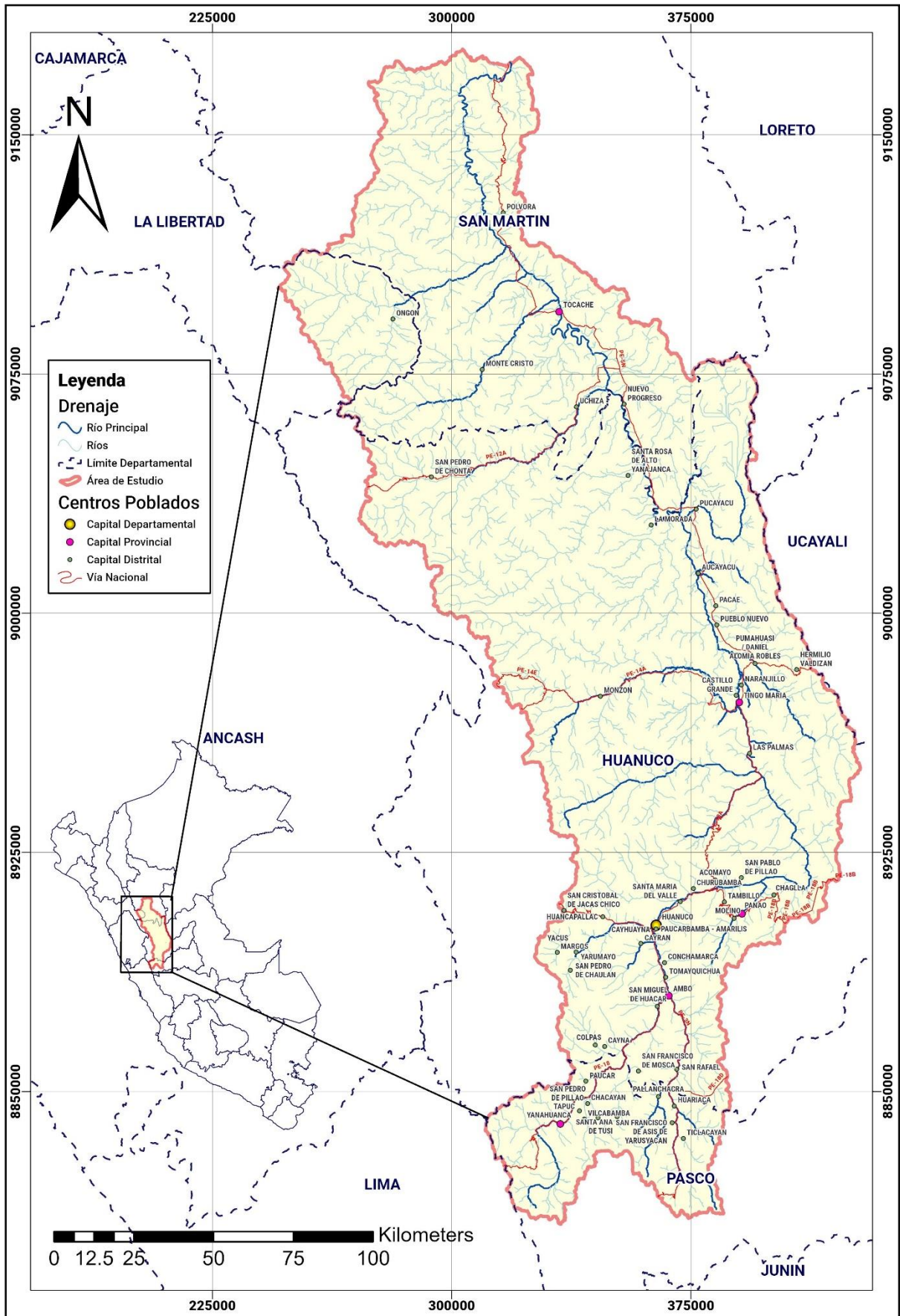


Figura 4. Ubicación del área de estudio en el territorio peruano

3.1.2. Clima

La intercuenca Alto Huallaga presenta múltiples climas que están en relación a la distribución geográfica, que se origina en la Cordillera de los Andes en el departamento de Pasco, donde el clima es semiseco y cálido, con invierno seco (pocas precipitaciones en frecuencia e intensidad); por otra parte la mayor superficie de la Intercuenca Alto Huallaga (13 699.28 km²) presenta un clima templado con abundante humedad en todas las estaciones del año, esto debido a la presencia de cobertura boscosa en los departamentos de Huánuco y San Martín, la cual es considerada la parte más baja del ámbito de estudio, debido a su altitud respecto al nivel del mar; finalmente, de acuerdo con la clasificación climática realizada por (SENAMHI, 2020), en la Intercuenca Alto Huallaga el clima varía desde el frío seco hasta muy húmedo y lluvioso.

3.1.3. Hidrografía

La ICAH principalmente está conformado por el Río Huallaga; según criterio técnico y normativo, la metodología Pfafstetter (R.J. 319-2015-ANA) para inventarios de fuentes naturales de agua superficial, la ICAH es de nivel 5, la naciente principal es la laguna Lasuna (Carta Nacional del IGN) ubicada a 10 km aguas arriba de la laguna Raracocha en el distrito de Simón Bolívar a una altitud de 4,547 m.s.n.m.; la longitud del cauce desde este tramo es de 117km aproximadamente, este tramo varía de nombre a lo largo de su recorrido, como: Quebrada Raracocha, Río Colorado, Río Chaupihuaranga, Río Huertas y Río Huallaga.

Cabe precisar que, según la Carta Nacional del IGN, se considera el cauce principal al tramo del río, Ambo -Ticlacayan como río Huallaga, el cual se origina en la laguna de Tauli (Taulicocha) en el distrito de Ninacaca a una altitud de 4,265 m.s.n.m., cuyo recorrido es de 92 km aproximadamente, pero técnicamente no corresponde calificarle como la naciente del río Huallaga. Desde la localidad de Ambo hasta el punto de monitoreo de Calidad del Agua “RHual27” en el distrito de Campanilla, provincia de Mariscal Cáceres, departamento de San Martín, el río Huallaga recorre 501 km aproximadamente, interceptando ciudades como, Huánuco, Tingo María, Aucayacu, Nuevo Progreso, Santa Lucía y Tocache; haciendo un total de 618 km de recorrido. Los afluentes del río Huallaga que formaron parte de la presente investigación son los ríos: Tingo, Condorgaga, Chinchán, Tahuarmayo, Huancachupa, Higuera, Lomas Gordas, Chinchao, Jarahuasi, Monzón, Supte, Tulumayo, Cuchara, Sangapilla, Aucayacu, Pucayacu, Aspuzana, Chontayacu, Tocache, Chaluayacu y Mishollo; además de múltiples quebradas, registradas en la base de datos de la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2021), que se muestran en la Figura 5.

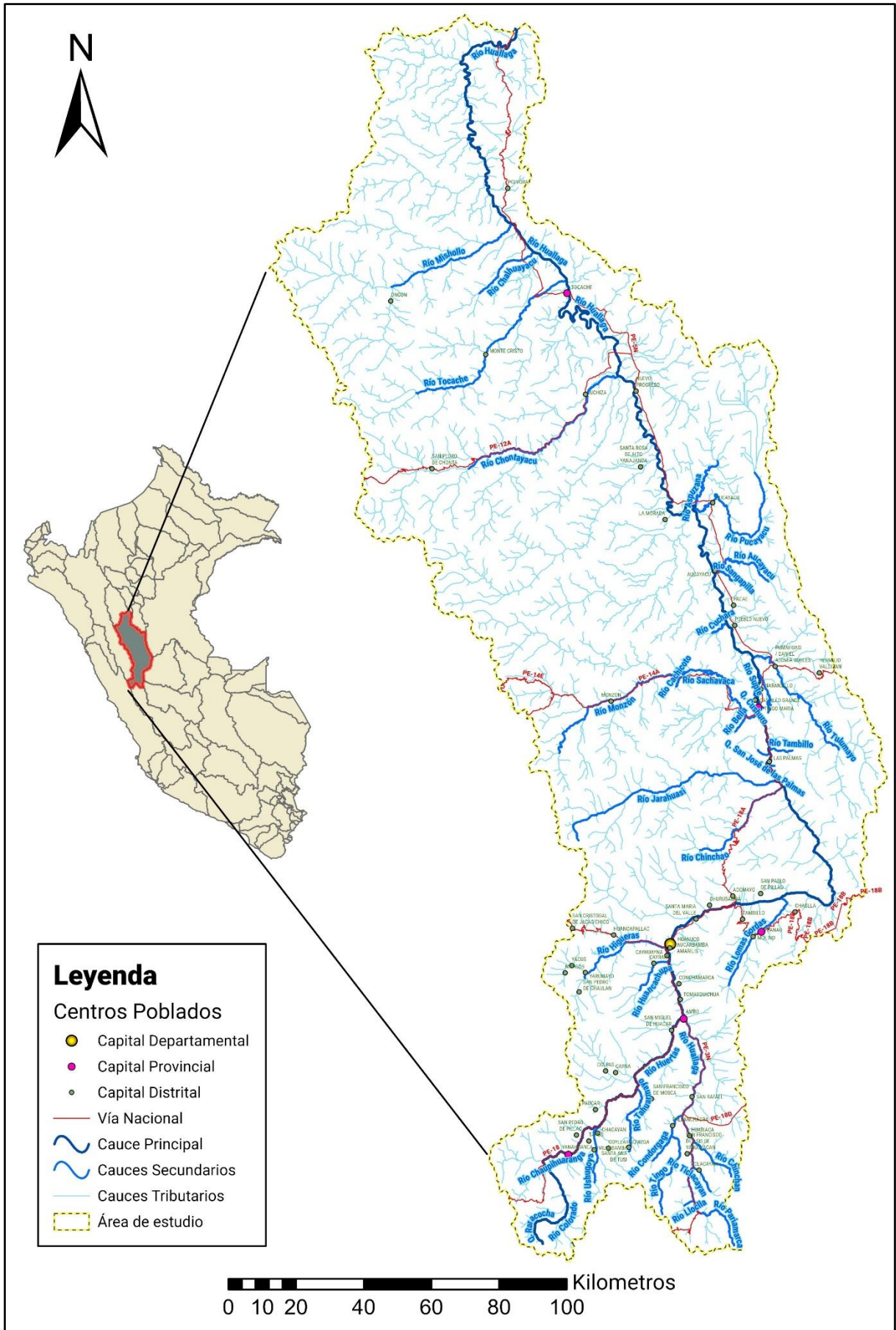


Figura 5. Hidrografía de la Intercuenca Alto Huallaga

3.2. Materiales y equipos

3.2.1. Materiales

Los materiales empleados en la investigación fueron: cuaderno de apunte, y papel bond A4 para tramite documentario en fisico.

3.2.2. Equipos

Equipo de Cómputo (ASUS Core i7 de 12 GB de RAM).

3.2.3. Recursos digitales

Imágenes satelitales LANDSAT 7 y 8 del 2014 al 2021, imagen SRTM Digital Elevation 30m, imagen DEM ALOS PALSAR de 12.5m, Imágenes OpenLandMap de arena, arcilla, materia orgánica a 0cm de profundidad, imagen limo de MasterGIS, imágenes CHIRPS v2.0 mensual (2018-2021), Imágenes georreferencias de la Carta Nacional del IGN, Imágenes Land Cover de Sentinel-2 (2018-2021), archivo Shapefile del mapa geológico y metalogenetico del INGEMMET, información WMS de ríos y unidades hidrográficas de la Autoridad Nacional del Agua, Archivos Excel con información de los Parámetros de Calidad del Agua descargados del Observatorio del Agua de la ANA , Informes de los resultados de los Monitoreos de Calidad del Agua Superficial de la Parte Alta de la Cuenca del Río Huallaga (2014-2021), archivos Excel y Shapefile del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), con datos de población total de los centros poblados georreferenciados.

3.2.4. Software para procesamiento

Los programas de escritorio empleados, fueron: Microsoft Excel, Microsoft Word, SPSS23, ArcGis Pro 2.8.0, ArcMap 10.8 y RStudio 4.4 y Google Earth Pro; mientras que las aplicaciones en la nube o software como servicio (SaaS) fueron: Google Earth Engine y Colab de Google.

3.3. Criterios de investigación

3.3.1. Alcance de investigación

Descriptivo-Correlacional debido a que se recopilaron datos en la que se clasificaron, jerarquizaron y especificaron sus propiedades, además se determinó la posible causalidad o grado de asociación entre las variables y categorías (Hernández y Mendoza, 2018).

3.3.2. Diseño de investigación

No experimental-longitudinal: no se manipuló las variables de estudio de manera directa, debido a que estas variables son ambientales y sociales y se dan por causas naturales sin intervención del investigador, además que las muestras fueron las mismas en diferentes tiempos (Hernández y Mendoza, 2018).

3.3.3. Población

La población analizada fue la Intercuenca alto Huallaga-ICAH de código Pfafstetter 49849 (unidad hidrográfica localizada en la parte alta del río Huallaga). El cual está conformada por 81 Sub Unidades Hidrográficas (S-UH), definidas por conformar al menos un (1) punto de Monitoreo de Calidad del Agua.

3.3.4. Muestra

Corresponde al censo de la totalidad de las 81 Sub Unidades Hidrográficas, que de acuerdo con Hernández et al. (2018), en investigaciones no experimentales y con disponibilidad de información, es válido emplear el censo.

3.3.5. Operacionalización de variables

Tabla 13. Operacionalización de Variables

Variable	Dimensión	Indicador	Unidad de medida	Tipo de Escala
X: Parámetros de Macro Escala (PME)	Uso de Suelo	Tipos de Cobertura	Ha	Racional
	Erosión hídrica	Perdida de Suelo RUSLE	Tn/Ha-año	Racional
	Geología	Nivel de Aporte Geoquímico	Alto, Medio y Bajo	Ordinal
	Densidad Poblacional	Cantidad de habitantes por S-UH	Hab/Km ²	Racional
Y: Calidad del Agua (PMECA)	Parámetros de Calidad del Agua (PCA)	Concentración de cada PCA	mg/L	Racional
	ICARHS	Índice de Calidad del Agua (0-100)	%	Racional

Fuente: Elaboración propia. PCA según las C3-D1, C4-E1 y C4-E2 (D.S. N° 004-2017-MINAM) y el ICARHS Según R.J. N°084-2020-ANA.

3.3.6. Obtención de datos

Se solicitó todo tipo de información geoespacial a organismos gubernamentales de carácter: técnico y/o científico como: Autoridad Nacional del Agua (ANA), Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET), Ministerio del Ambiente (MINAM) y Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), para el ámbito de estudio “Intercuenca Alto Huallaga” (ICAH); tal como se evidencia en el Anexo C, del presente informe. Además, se generó información con datos disponibles en las diversas plataformas digitales.

3.3.6.1. Parámetros de Calidad del Agua

Se obtuvo información digital en formato PDF de los resultados de los monitoreos participativos de Calidad del Agua Superficial de la Autoridad Nacional del agua-ANA, proporcionado mediante Carta N° 0452-2023-ANA-AAA.H de fecha 11 de agosto del 2023, tal como se evidencia en el Anexo C. Además, se descargó información digital en formato “.xlsx” de los parámetros de calidad del agua, para complementar y comparar, de todos los puntos de monitoreo que comprenden el área de estudio, por cada campaña, del servidor del Observatorio Nacional de Recursos Hídricos (<https://snirh.ana.gob.pe>).

3.3.6.2. Uso de Suelo

Según respuesta del MINAM, mediante Carta N° 461-2022-MINAM/SG/OGDAC del 07 de julio de 2022, la entidad solo cuenta con el Mapa Nacional de Cobertura Vegetal del año 2015 (Anexo C); en consecuencia, para el periodo 2018-2021, se obtuvo información del Explorador de Cobertura de la compañía Esri, que es conocida como una organización informática que desarrolló el mapa de cobertura global con Inteligencia Artificial usando imágenes Sentinel-2 a nivel global (disponible en <https://livingatlas.arcgis.com>). Estas imágenes reclasificadas de Esri Land Cover con Inteligencia Artificial de aprendizaje profundo, muestra resultados consistentes respecto a otras plataformas como GLC_FCS30D, MCD12Q1, ESA CCI y Dynamic World, por lo que, para la clasificación de cobertura terrestre resulta conveniente para identificación de espacios Urbanos, Forestales y Agrícolas, sobre todo en el continente americano tal como lo señalan los especialistas en teledetección con inteligencia artificial Li et al. (2025).

Además, se descargó imágenes satelitales Landsat 7 y 8 para la ICAH a una resolución de 30m con cobertura de nubes menor a 10% para los años 2018, 2019, 2020 y 2021, a fin de comparar las imágenes de cobertura del Esri. Las cuadrículas descargadas fueron: “18M” y “18L” que abarcan la totalidad del área de estudio (ICAH), cuyos archivos digitales están en formato TIF, tal como se aprecia en la Figura 6. Los usos determinados por Esri, para el área de estudio son: Bosque (Alta densidad de árboles), Vegetación Inundada (vegetación con suelos saturados de agua), Agricultura (Cultivos), Urbano (Construcciones humanas), Suelo Desnudo (Tierras sin cobertura vegetal), Glaciar (Masas de hielo) y Pastizal (tierras conformadas por hiervas y pastos).



Figura 6. Imágenes Esri en descarga para el año 2019 de las cuadrículas 18L y 18M.

3.3.6.3. Erosión hídrica

En el repositorio digital del SENAMHI, no se dispone de información de este PME para la cuenca del río Huallaga para el periodo de interés; en los dos atlas de erosión (Sabino et al., 2017; Sabino et al., 2021). Por lo que fue necesario elaborar esta información, empleando técnicas de sensoramiento remoto aplicando la metodología RUSLE (Wischmeier y Smith, 1978), empleando Google Earth Engine con Colab. Tal como se empleó, en la elaboración del Atlas de producción de sedimentos elaborado por SENAMHI (Sabino et al., 2021), metodología más se aplicada en todo Sudamérica (ecuación 1 que se detalla a continuación).

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad (1)$$

- A : Media de pérdida anual de suelo
- R : Factor lluvia o Índice de erosividad
- K : Factor de erodabilidad del suelo
- L : Factor longitud de la pendiente
- S : Factor de inclinación de la pendiente
- C : Factor de cobertura Vegetal
- P : Factor de control de erosión mediante prácticas de cultivo

Para lo cual, se elaboró un Snippet (Script) en la aplicación Colab de Google utilizando lenguaje de programación Python, vinculado a Google Earth Engine (GEE), donde previamente se agregaron tres assets (archivos de code editor de GEE) con información vectorial y ráster del área de estudio, flujo de acumulación e Índice de Arnould; el flujo de acumulación se procesó en el software ArcGIS con una resolución de 100 m por pixel; y el índice de Arnould que está en función de la precipitación, fue determinado con información de precipitación mensual de CHIRPS.

Así mismo, se desarrolló una función en Python para determinar el NDVI promedio, con imágenes Landsat 7 y Landsat 8, en función del área de estudio cuyo periodo de tiempo asignado fue del año 2018 al 2021, sin embargo, se evidencio información faltante por la presencia de nubes, por lo que se complementó con una máscara NDVI del periodo 2018-2023. Posteriormente, se determinó el factor C. Con respecto a los Factores S, R y K, las variables y/o información necesaria para su estimación, se empleó datos de la librería Open Land Map de GEE; y con respecto al valor de Practicas de Manejo se consideró el valor de 1, al no presentarse evidencias de control de erosión en la cuenca del rio Huallaga (Carrión, 2019); el procesamiento general se observa en el flujo de la Figura 7.

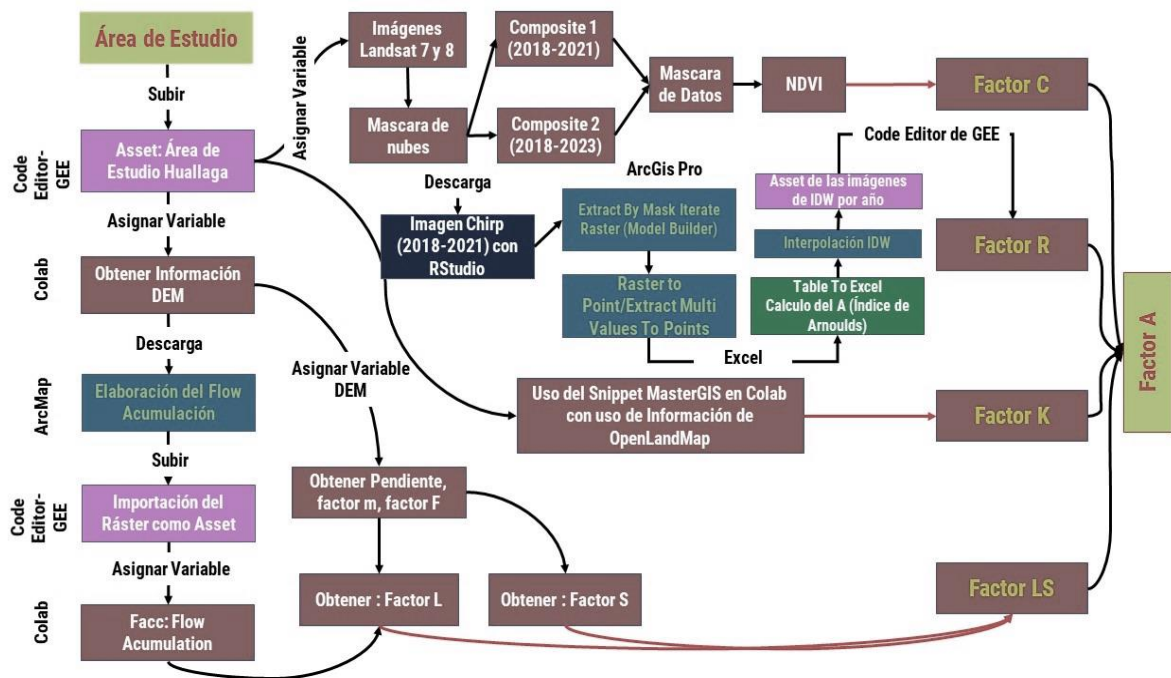


Figura 7. Flujo del procedimiento para la estimación de la erosión hídrica.

- *Índice de erosividad (R)*

Para determinar este factor, se empleó información de precipitación mensual CHIRPS generado por Climate Hazards Center de la Universidad de California, el cual es de acceso libre y se encuentra disponible en <https://data.chc.ucsb.edu>; la descarga de información se realizó mediante el software RStudio empleando el Script 2 del anexo F.

La información descargada fue almacenada en una carpeta, cuyas imágenes CHIRPS son de alcance global para cada mes de precipitación, haciendo un total de 48 imágenes para el periodo 2018-2021 del presente estudio. Posteriormente en ArcGIS mediante la aplicación del Model Builder se realizó la iteración de “Extract By Mask” a las 48 imágenes con el área de estudio, para extraer la información de precipitación mensual. Por consiguiente, se convirtió uno de las imágenes (ráster) a Shapefile de tipo punto, donde se generaron 993 puntos que equivalen al número de píxeles, además, se aplicó la herramienta “Extract Multi Values To Points” para extraer la información de precipitación mensual para cada punto, finalmente se procedió a exportar el Microsoft Excel para determinar el índice de Arnoldus, tal como lo empleo Nakaya (2023) en su tesis desarrollada en el departamento de Junín del territorio peruano.

$$A = \sum_{i=1}^{12} \frac{p_i^2}{P} \quad (1.1)$$

- A : Índice de Arnoldus
 p_i : Precipitación del mes (mm)
 P : Precipitación anual (mm)

Luego de determinar el índice de Arnoldus para cada punto por cada año, se prosiguió a añadir al Shapefile de puntos del ArcMap usando el comando Join de la tabla de Atributos, donde posteriormente se interpoló los datos para crear la imagen de interpolación con la herramienta IDW (Nakaya, 2023).

Para el cálculo del factor R (índice de erosividad), existen múltiples ecuaciones como la de Wischmeier y Smith (1978), Renard y Freimund (1994), Cerretelli et al. (2018) los mismos que fueron empleados por Sabino et al. (2021) para la elaboración del mapa de producción de sedimentos por erosión hídrica del SENAMHI; sin embargo, en la presente investigación se aplicó lo trabajado por Nakaya (2023), para zonas con precipitación anual mayor 200 mm y la cercanía con la ICAH en base a los trabajos desarrollados por Fournier y Arnoldus, que se correlacionan con valores conocidos de R, tal como se expresa en la siguiente ecuación.

$$R = a * \left(\sum_{i=1}^{12} \frac{p_i^2}{P} \right) + b \quad (1.2)$$

- R : Índice de Erosividad
 a y b : constantes climáticas de USA de valor 4.17 y -152 respectivamente

Finalmente, para determinar el factor R con la información ya generada hasta ahora, se empleó lenguaje Python en Google Earth Engine con Colab, con el Script 3., del anexo.

- **Factor de erodabilidad (K)**

Para determinar este factor, se empleó el método de Wischmeier & Smith, (1978) que fue empleado por Sabino et al. (2021); cuya ecuación incluye los factores: porcentaje de limo + arena fina (partículas de 0.002 a 0.1 mm de diámetro), porcentaje de arena (partículas de 0.1 a 2.0 mm), contenido de materia orgánica (%), estructura y permeabilidad del suelo; cuya información es generada por la Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), y requiere del uso de la clasificación textural del suelo para obtención de estos datos de manera indirecta. Sin embargo, dada la coyuntura digital y el acceso a información en la nube, es que se cuenta con datos de % (kg / kg) Arcilla, Limo, Arena y Materia Orgánica a 0, 10, 30, 60, 100 y 200 cm de profundidad con una resolución de 250 m disponibles en el catálogo de GEE que está basada en predicciones de aprendizaje automático a partir de una

compilación global de perfiles y muestras de suelo, proporcionados por OpenGeoHub Foundation y EnvirometriX Ltd., quienes elaboraron OpenLandMap, y la aplicación en investigaciones de erosión hídrica para regiones tropicales con fuerte variabilidad climática por Teng et al. (2018) empleo la siguiente ecuación:

$$K = \left\{ 0.2 + 0.3 \exp \left[-0.0256 SAN * \left(1 - \frac{SIL}{100} \right) \right] \right\} * \left(\frac{SIL}{CLA + SIL} \right)^{0.3} \\ * \left[1 - \frac{0.25 SOC}{SOC + \exp(3.72 - 2.95 SOC)} \right] * \left[1 - \frac{0.7 SN1}{SN1 + \exp(5.51 + 22.9 SN1)} \right] \\ * 0.1317 \quad (1.3)$$

SAN : % de Arena a 0cm de profundidad expresado en kg/ kg

SIL : % de Limo a 0cm de profundidad expresado en kg/kg

CLA : % de Arcilla a 0cm de profundidad expresado en kg/kg

SOC : % de Carbono Orgánico a 0cm de profundidad expresado en kg/kg

SN1 : Constante (1-SAN/100).

En este contexto, la ecuación 1.3, fue implementada mediante una función en lenguaje Python en Google Colab tal como se muestra el script 4 del anexo F; este factor es constante en el tiempo, ya que la información empleada proviene de una Imagen estática (ee.Image) producto de la recopilación de datos por Envirometri Ltd., correspondiente al periodo 1950 -2017.

- **Factor de Cobertura Vegetal (C)**

Este factor, presenta variación debido a los cambios de cobertura en función del tiempo, para lo cual se empleó las imágenes satelitales del Landsat 7 y 8 para la obtención del Índice de Diferencia Normalizada de Vegetación (NDVI) mediante la ecuación 1.4, que fue propuesto por Rouse (1974) y empleado en la presente investigación para la determinación de dicho índice para los años 2018, 2019, 2020 y 2021; además este índice es una variable independiente del cual depende el factor C para la determinación de la erosión hídrica con la metodología RUSLE, tal como se expresa en la ecuación 1.5 y avalado por Durigon et al., (2014), citado por Carvalho et al., (2014) en su investigación desarrollada en Río de Janeiro (Brasil), dentro del continente americano.

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)} \quad (1.4)$$

NDVI: Índice en intervalo de 0 a 1

NIR : Banda del Infrarojo Cercano'

RED : Banda Roja

Resulta pertinente aclarar que la banda NIR dentro de la colección de imágenes en el catálogo de GEE (ee.ImageCollection) para Landsat 7 y 8 está nombrado como ‘SR_B5’ y ‘SR_B4’ respectivamente; mientras que para la banda RED en Landsat 8 es ‘SR_B4’ y a Landsat 7 le corresponde ‘SR_B3’.

$$C = \left(\frac{1 - NDVI}{2} \right) 1 + NDVI \quad (1.5)$$

Subsecuentemente la ecuación 1.5 fue ingresado mediante código Python al Google Colab, para la obtención de la imagen del factor C, con el Script 5 del anexo F.

- **Factores topográficos (L y S)**

Factor L

Es uno de los factores topográficos que fue propuesto por Desmet y Govers (1996) tal como lo mencionan en las investigaciones de Phinzi y Ngetar (2019) y Del Castillo (2023) para el cálculo de la erosión hídrica; el mismo que fue empleado por su disponibilidad de acceso a la información en el catálogo de datos de Google Earth Engine, es representada en la ecuación 1.6, y procesada usando el lenguaje programación Python con el Script 6 del anexo F, así mismo es preciso mencionar que la variable A de la mencionada ecuación, se ejecutó en el programa ArcGis.

$$L = \frac{(A_{(i,j)} + D^2)^{m+1} - A_{(i,j)}^{m+1}}{D^{m+2} * (22.13)^m} \quad (1.6)$$

$$m = \frac{F}{1 + F} \quad (1.6.1)$$

$$F = \frac{\sin\phi / 0.0896}{3 * (\sin\phi)^{0.8} + 0.56} \quad (1.6.2)$$

Donde:

- L : Factor de longitud de la pendiente
- m : Exponente adimensional
- A_{i,j} : Área aportadora unitaria a la entrada de un píxel (celda), flujo de acumulación
- D : Tamaño del píxel del ráster
- F : Factor F definido por la ecuación en función de la pendiente
- ∅ : Pendiente en grados multiplicado por ‘0.01745’

Factor S

Barrios y Quiñonez desarrollaron un modelo que fue aplicado por Del Castillo (2023), el mismo que fue empleado en la presente investigación, cuya fórmula matemática es expresada en la ecuación 1.7 que se muestra a continuación.

$$S_{(i,j)} \begin{cases} 10.8\sin\phi_{(i,j)} + 0.03 ; si \tan\phi_{(i,j)} < 0.09 \\ 16.8\sin\phi_{(i,j)} - 0.5 ; si \tan\phi_{(i,j)} \geq 0.09 \end{cases} \quad (1.7)$$

Del mismo modo que para el factor L, esta ecuación fue aplicada usando el lenguaje programación Python con el Script 6 del anexo F, el mismo que emplea información del factor L.

- **Factor de control de erosión mediante prácticas de cultivo (P)**






Para este factor, se asignó el valor de 1 en la presente investigación tal como lo recomienda Fu et al. (2005) citado por Phinzi y Ngetar (2019); el cual es sustentado por lo difícil que resulta representar las prácticas como terrazas o labranza en contorno para el control de la erosión en cuencas de gran tamaño, tal es el caso del área de estudio (ICAH); por lo que se asignó $P = 1$, sugiriendo ausencia de prácticas de conservación a gran escala.

- **RUSLE (A)**

Luego, se procedió a multiplicar los factores determinados en las ecuaciones 1.2, 1.3, 1.5, 1.6 y 1.7, y reemplazados en la ecuación 1, para los años 2018, 2019, 2020 y 2021, mediante el Script 7 del anexo F, cuyos resultados están expresados en Tn/Ha-año.

Finalmente, haciendo uso de la extensión “Reclassify” del ArcGis Pro, se clasifico la erosión hídrica en cinco (5) niveles, según lo establecido por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura-FAO (Campos et al.,2013), tal como se detalla en la Tabla 14.

Tabla 14. Clasificación de niveles de erosión hídrica

Nivel	Erosión Hídrica Valor	Simbología
Ligera	< 10 Tn/Ha-Año	
Moderada	10-50 Tn/Ha-Año	
Acusada	50-100 Tn/Ha-Año	
Alta	100-200 Tn/Ha-Año	
Muy Alta	>200 Tn/Ha-Año	

Fuente: Campos et al.(2013).

3.3.6.4. Densidad Poblacional

Se obtuvo información geoespacial (Shapefile y Archivo Excel), generada por el Instituto Nacional de Estadística e Informática -INEI (Perú) en el Censo Nacional de Población y Vivienda del año 2017 (Ver Anexo C), mediante Oficio N° 000574-2023-INEI/DTDIS de fecha 26 de julio del 2023, del total de habitantes por cada Centro Poblado de la ICAH.

Por otra parte, se complementó la información con la descarga de datos de población total proyectada para cada distrito de la ICAH para los años 2018, 2019, 2020 y 2021 del portal Sistema de Información Distrital para la Gestión Pública del INEI (<https://estadist.inei.gob.pe/report>), el cual emplea el modelo de crecimiento poblacional logístico, para proyecciones oficiales a nivel nacional, departamental, provincial y distrital (INEI, 2020), cuya ecuación de la tasa de crecimiento poblacional (r) considera variables de Población inicial (P_0), Población después de t años (P_t), Capacidad de Carga (K) e intervalo de tiempo en años (t); tal como se muestra en la siguiente ecuación.

$$r = \frac{1}{t} \ln \left(\frac{P_t(K - P_0)}{P_0(K - P_t)} \right) \quad (2)$$

Sin embargo, dada la información de población total para cada distrito que está proyectada por el INEI, se procedió a aplicar la variación relativa porcentual (Espinel et al., 2010) para los años 2017-2018, 2018-2019, 2019-2020, 2020-2021, denotado como “Vr” a la variación relativa en porcentaje, tal como se expresa en la ecuación 2.1.

$$Vr = \left(\frac{Vf - Vi}{Vi} \right) \times 100 \quad (2.1)$$

Donde:

Vi : Valor inicial

Vf : Valor final

Posteriormente, usando Microsoft Excel, con datos geoespaciales de los centros poblados, se construyó la base de datos de: Centros poblados, distritos, provincias, departamentos, población total del año 2017, Variaciones relativas [Vr 2018, Vr 2019, Vr 2020 y Vr 2021], Sub Unidades hidrográficas (S-UH), con el que se determinó la cantidad de población para cada centro poblado en el periodo de tiempo establecido por cada S-UH.

Finalmente se procedió a determinar la densidad poblacional para cada Sub Unidad Hidrográfica (S-UH) de la Intercuenca Alto Huallaga, aplicando la ecuación

2.2 (Bostanmaneshrad et al., 2018); además se determinó la densidad poblacional normalizada en un rango de 0 a 100.

$$DP = \frac{P}{A} \quad (2.2)$$

Donde:

DP : Densidad Poblacional (Hab/Km²)

P : Población total de la S-UH

A : Área de la S-UH en Km²

3.3.6.5. Geología

Respecto a este PME, se emplea como característica fundamental, el nivel de aporte geoquímico de las diferentes formaciones geológicas, en el análisis de la relación de la geología con la calidad del agua, (Bostanmaneshrad et al., 2018). En tal sentido, la entidad técnico científica encargada de generar este tipo de información en el Perú, es el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico- INGEMMET, quien elaboro el atlas geoquímico el año 2017, exclusivamente para las regiones de costa y sierra; no resultando útil para aplicar en la presente investigación; además que, la contribución o aporte geoquímico no está dada en una escala ordinal de algún tipo.

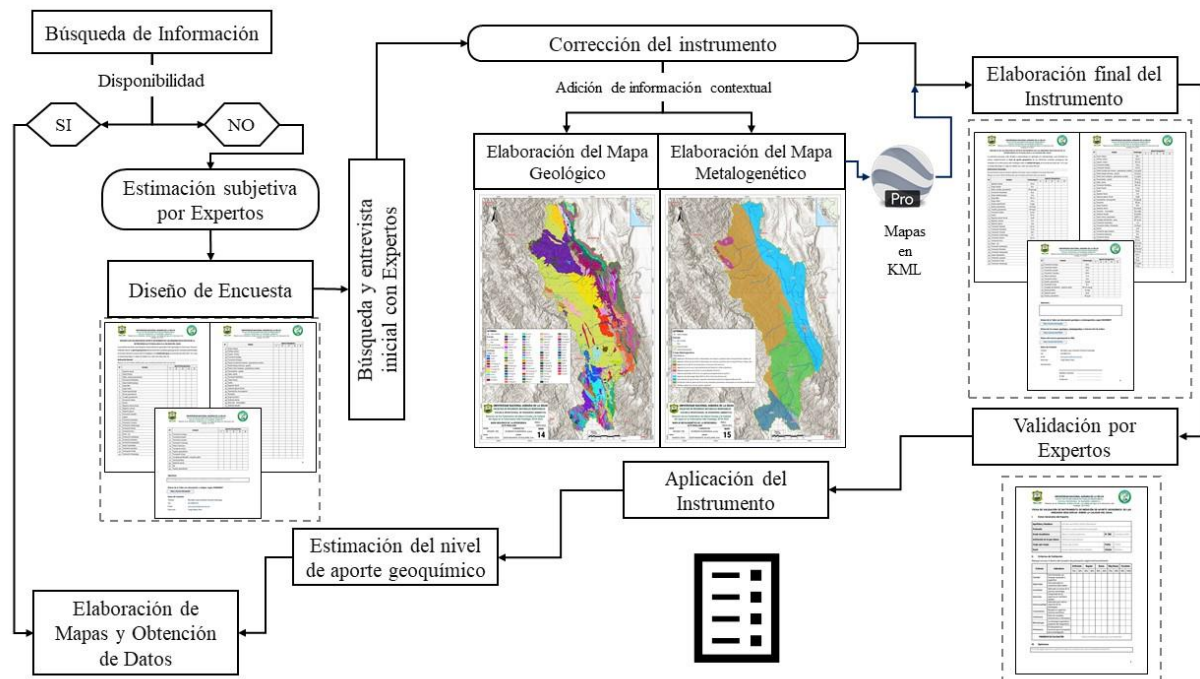


Figura 8. Flujograma de procedimiento para la estimación de aporte geoquímico.

En tal sentido, se diseñó y aplicó el procedimiento que se muestra en la Figura 8, el cual se basa en la valoración subjetiva por profesionales en geología, mediante

una encuesta validada por expertos, sobre los niveles de aporte geoquímico por cada unidad geológica que circunscribe la ICAH; el mismo que es respaldado por Hernández et al. (2014), en estudios exploratorios, donde el propósito no es generalizar resultados con alta precisión, sino comprender de manera inicial un fenómeno y generar hipótesis para posteriores investigaciones, dado que la estimación del nivel de aporte geoquímico requiere de estudios más detallados en la rama de la geología en el Perú.

Dada la situación antes mencionada, los pasos desarrollados se detallan a continuación:

- ***Búsqueda de información***

Se realizó la búsqueda de información del nivel de aporte geoquímico para el área de estudio, en las plataformas digitales del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico –INGEMMET, Instituto Geológico del Perú-IGP, y otras fuentes académicas, encontrándose únicamente el atlas geoquímico para los metales fuera del área de estudio.

- ***Estimación subjetiva por expertos***

Dada la situación anterior, se consideró oportuno considerar este PME como parte de las variables de estudio, a partir juicios de profesionales, el cual ha sido reconocido como una herramienta válida en evaluaciones geoquímicas preliminares cuando no se dispone de datos analíticos detallados Reimann & Caritat, (2005), y empleada en investigaciones exploratorias de un nivel de investigación inicial, y también sugerida por Hernández et al. (2014).

- ***Diseño del instrumento***

Se elaboró una encuesta en función de las 82 Unidades geológicas identificadas en las cartas geológicas de escala de 1:100 000 disponibles en el portal del GEOCATMIN para el área de estudio, cuyo diseño de pregunta fue cerrada politómica ordinal, en la escala de Likert del 1 al 5; donde 1 representa Muy Bajo Nivel, 2: Bajo, 3: Medio, 4: Alto y 5: Muy Alto Nivel de aporte geoquímico al agua.

- ***Búsqueda y entrevista inicial con expertos***

Se realizó la búsqueda y contacto inicial con profesionales en geología, luego se desarrolló una entrevista inicial, con la finalidad de explicarle los alcances generales como el objetivo y metodología de la investigación, y cuál sería su contribución, centrándose únicamente para la variable geología a través de la estimación del nivel de aporte

geoquímico; además se le brindó el diseño del instrumento, para que pueda realizar su juicio o validación.

- ***Corrección del instrumento***

Luego de la entrevista inicial, se consideró pertinente los siguientes aspectos: adicionar información de la zona metalogenética que corresponde a cada unidad geológica, código de la unidad según INGEMMET; reducir el número de las unidades geológicas a 70 por presentar características similares; y complementar la encuesta con mapas de Geología y Metalogenética (Mapas 13 y 14 del Anexo D) para una correcta valoración de parte de los encuestados.

- ***Elaboración Final del Instrumento***

Se implementó todos los aspectos sugeridos por el experto, para su posterior aplicación, el cual fue cargado a Google drive, y compartido mediante enlace digital “Link”, adjuntando en la parte final de la encuesta, los documentos complementarios que el experto sugirió, tal como se visualiza en el ítem B-2 del Anexo B.

- ***Validación por expertos***

Se consideró tres expertos para la validación, cuyo perfil se alinea al propósito de la investigación, caracterizándose por poseer académica y científica en el campo de la geología. Así mismo, se les asignó una ficha de validación, cuyas puntuaciones están en una escala del 1 a 100 para 9 criterios, el perfil de expertos se detalla en la Tabla 15 y las validaciones respectivas, se muestran el Anexo A.

Tabla 15. Expertos de la validación del instrumento en geología

Nº	Apellidos y Nombres	Profesión	Puntuación
1	Torres Lázaro, Juan Carlos	Ing. Geólogo	20
2	Laureano Valentín, Gaudencio	Ing. Geólogo	90
3	María Del Carmen Manchego	Ing. Geólogo	75

Fuente: Elaboración propia.

- ***Población y muestra***

La población es el conjunto de profesionales pertenecientes al capítulo de Geología del Colegio de Ingeniero del Perú-CIP que se encuentran registrados en los departamentos de Pasco, Huánuco y San Martín, conformado por 235, quienes fueron registrados en el periodo 1962-2024 (CIP, 2025). Se determinó la muestra de 146, empleando la fórmula de muestreo para población finita, tal como se expresa en la ecuación 3.

$$n = \frac{NZ^2pq}{e^2(N-1) + Z^2pq} \quad (3)$$

Donde:

- N : Tamaño poblacional
 Z : Nivel de Confianza a 95% equivalente a 1.96
 p & q : Proporción esperada de individuos con la característica de interés (0.5).
 e : error permitido (5%).

- ***Aplicación del instrumento***

Se aplico la encuesta a diferentes geólogos, para lo cual se remitió documentos a las distintas instituciones como el INGEMMET, UNDAC, UNI Colegio de Ingenieros del Perú con sede en Cerro de Pasco, tal como se evidencia las figuras del Anexo C, por lo que se contó únicamente con la participación de 6 geólogos.

- ***Confiabilidad del instrumento***

Se determino la confiabilidad del instrumento empleando, el coeficiente de Alfa de Cronbach (ecuación 4), para 6 encuestas, usando Microsoft Excel.

$$\alpha = \frac{K}{K-1} * \left(1 - \frac{\sum V_i}{V_t}\right) \quad (4)$$

Donde:

- α : Coeficiente del Alfa de Cronbach.
 K : Número de ítems (Unidades geológicas-70)
 V_i : Varianza de cada ítem, la sumatoria de varianzas es 113.75
 V_t : Varianza de la suma de los ítems (Total), 3729.14

El resultado es 0.98, considerado con una excelente confiabilidad (Hernández et al. ,2014), pero cabe señalar que el error de la muestra es alto, ya que, en esta parte de la investigación, el nivel de estudio es exploratorio. Luego, se determinó el promedio de valoración del aporte geoquímico para cada ítem; donde finalmente se clasifico en tres intervalos, cuyos rangos, son equidistantes tal como se muestran en la Tabla 16.

Tabla 16. Rangos para la clasificación del nivel de aporte geoquímico.

Rango para el Promedio de Valoración		Aporte Geoquímico
Mínimo	Máximo	
1	2.33	Bajo
2.33	3.67	Medio
3.67	5.00	Alto

Finalmente, empleando el software ArcGis Pro 3.0.0, se elaboró el mapa de niveles de aporte geoquímico de la ICAH (Ver Mapa 17 del Anexo D), donde únicamente se agregó el valor del nivel de aporte geoquímico a los “ID” (Identificador de cada Unidad geológica) según instrumento y mapa de geología de la ICAH. Finalmente se extrajo los datos del nivel de aporte geoquímico para cada Sub Unidad Hidrográfica, tal como se muestra en el Anexo E-1.

3.3.6.6. Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos (ICARHS)

Este, Índice fue establecida por la ANA (2020), mediante R.J. N° 084-2020-ANA; y es empleado cuando se dispone de suficiente información de parámetros de calidad del agua, detallados en la Tabla 17. La ecuación 5 es la fórmula elaborada por el Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente, el cual se aplica para el ICARHS.

$$CCMEWQI = 100 - \left(\frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1,732} \right) \quad (5)$$

Alcance (F₁): Expresa la proporción de parámetros de calidad que no alcanzaron los ECA para el agua.

$$F_1 = \frac{\sim ECA}{P} \quad (5.1)$$

Donde:

- ~ECA : Número de parámetros que no cumplen los ECA de agua.
P : Número total de parámetros a evaluar.

Frecuencia (F₂): Expresa el número de datos que no cumplen los ECA de agua.

$$F_2 = \frac{\sim dECA}{D} \quad (5.2)$$

Donde:

- ~dECA : Número de parámetros que no cumplen los ECA de agua.
D : Número total de parámetros a evaluar.

Amplitud (F₃): Magnitud que representa la desviación en los datos.

$$F_3 = \left(\frac{SNE}{SNE + 1} \right) * 100 \quad (5.3)$$

Donde:

- SNE : Suma Normalizada de Excedentes.

$$SNE = \left(\frac{\sum_{i=1}^n Excedente_i}{Total\ de\ Datos} \right) \quad (5.3.1)$$

Por otra parte.

$$Excedente = \begin{cases} \frac{x}{ECA} - 1, & x > ECA \\ \frac{ECA}{x} - 1, & x < ECA \end{cases} \quad (5.3.1.1)$$

Donde:

ECA : Valor del parámetro establecido en los ECA para agua.

x : Valor del parámetro que no cumple los ECA para agua.

ICARHS: Este índice está basado en dos subíndices que consideran los parámetros orgánicos para el “S1” y parámetros físicos, químicos y metales para el “S2”, donde el ICARHS es el mínimo valor y de calificación crítica; la ecuación 6 representa la condición.

$$ICARHS = \text{mín.}(S_1, S_2) \quad (5.4)$$

Tabla 17. Parámetros empleados en el ICARHS por cada categoría.

	Parámetro de Calidad del agua	Categoría 1	Categoría 3	Categoría 4
Materia Orgánica	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	X	X	X
	Demanda química de oxígeno (DQO)	X	X	
	Oxígeno disuelto (valor mínimo)	X	X	X
	Coliformes Termotolerantes	X	X	X
	Fósforo total	X		X
	Amoniaco - N	X		
	Nitratos (NO3-)			X
	Hidrocarburos totales de petróleo 4/			X
Físico-químico Metal	Potencial de hidrógeno (pH)	X	X	X
	Arsénico	X	X	X
	Aluminio	X	X	
	Manganeso	X	X	
	Hierro	X	X	
	Cadmio	X	X	
	Plomo	X	X	X
	Boro 5/	X	X	
	Cobre		X	X
	Mercurio			X
	Zinc			X
	Sólidos suspendidos totales			X

Fuente: ANA (2020); X: Empleado en el ICARHS.

Una vez estimada el ICARHS, para cada punto de monitoreo en cada campaña, se clasifico e interpreto su calidad del agua empleando la Tabla 18.

Tabla 18. Valoración del Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos.

Valor ICARHS	Clasificación ICARHS	Interpretación
95-100	Excelente	La calidad del agua está protegida, ausencia de amenaza o daño, su condición está muy cercana a los niveles naturales o deseables
80-94	Bueno	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.
65-79	Regular	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.
45-64	Malo	La calidad de agua no cumple con los objetivos de calidad, frecuentemente las condiciones deseables están amenazadas o dañadas. Muchos de los usos necesitan tratamiento
0-44	Pésimo	La calidad del agua no cumple con los objetivos de calidad, casi siempre está amenazada o dañada. Todos los usos necesitan tratamiento

Fuente: ANA (2020).

3.3.7. Estandarización de datos

Luego de realizar la búsqueda y obtención de la información de los PME y los PMECA, se procedió a ordenarlos de manera cronológica, verificando que se disponga de información completa y acorde al objetivo, por cada año, según al proyecto de investigación, para el periodo de interés del año 2014 al 2022, el cual se resume en la Tabla 19.

Tabla 19. Matriz de verificación cronológica de disponibilidad de información de las variables de estudio

Institución	Año												Variables
	1981	1984	2007	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
ANA				i	i	i	i	X	X	X	X		PMECA
MINAM					X								Uso de Suelo (PME)
SENAMHI	X	X	X	X			*				*		Erosión (PME)
INEI			X				X	x	x	x	x		Población (PME de DP)
INGEMMET		X											Geología 1/100,000
ESRI (Sentinel 2)							*						Geoquímica (PME de Geología)
GEE	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Uso de Suelo (PME)
													Erosión Hídrica (PME)

Fuente: Elaboración propia. X: Disponibilidad de datos completos; x: Disponibilidad de datos solo con proyecciones estadísticas; i: Datos incompletos y/o sesgados; *: Datos nacionales no aplicables a la presente investigación; DP: Densidad Poblacional; PME: Parámetro de Macro Escala; PMECA: Parámetros de Micro Escala de Calidad del Agua.

Se cuenta con datos de los parámetros de calidad del agua de manera completa y regular, para el periodo de estudio de los años 2018 al 2021, además, en este periodo, la ANA realizó al menos dos campañas de monitoreo de calidad del agua al año (épocas de Avenida y Estiaje) y establecieron en 51 PMECA en cumplimiento con el D.S. N° 04-2017-MINAM. Con respecto a los PME, se generó dicha información para Erosión Hídrica, Uso de Suelo y Densidad Poblacional con fuentes de información secundaria, como datos del catálogo de imágenes de Google Earth Engine, Imágenes reclasificadas de Sentinel-2 con inteligencia Artificial por la compañía Esri, y datos de población proyectada por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), respectivamente. Por otra parte, para el PME de Geología, el nivel de aporte geoquímico en niveles de “Bajo”, “Medio” y “Alto” se determinó de manera subjetiva según opinión de expertos en base a la información de la descripción de las características geológicas y metalogenéticas 70 unidades geológicas que comprende el área de estudio, según las cartas geológicas del INGEMMET.

3.3.8. Delimitación de las Sub Unidades Hidrográficas (S-UH) de la ICAH

Para la delimitación de las Sub Unidades Hidrográficas (S-UH), primero se extrajo el polígono de la Intercuenca Alto Huallaga de Código Pfafstetter 49849 en el archivo Shapefile “Unidades Hidrográficas”, de la plataforma de Infraestructura de Datos Espaciales - SNIRH de la Autoridad Nacional del Agua (<https://snirh.ana.gob.pe>), luego se le asignó un buffer de 1km y renombro como “Area_estudio”; para luego cargar como un Asset a la Code Editor de Google Earth Engine-GEE, a fin de extraer la imagen SRTM Digital Elevation 30m de la USGS que se encuentra disponible en el catálogo de datos de GEE mediante el Script 1 del anexo F.

Se aplicó las herramientas: “Fill”, “Flow Direction” y “Flow Accumulation”, de la extensión Hydrology del ArcMap 10.8; para la creación del ráster (imagen) de drenaje, se ejecutó la herramienta “Raster_Calculator” aplicando la formula (Con (“Flow_Acu.tif” $\geq 5000,1$), luego las herramientas “Stream Link”, “Stream Order” y “Stream to Feature”; este último proporcionó como resultado la red de drenaje en formato vectorial (Shapefile) de acuerdo al método Strahler. Se cargó la información de los puntos de monitoreo de la ANA al ArcMap, y se exporto en formato KML al Google Earth Pro, para confirmar su ubicación con la descripción según los informes de la ANA, a fin de realizar la delimitación de las 81 Sub Unidades Hidrográficas de la ICAH (S-UH) empleando la herramienta “Watershade” de Hydrology, tal como se muestra en la Figura 9 y se detalla en la Tabla 20.

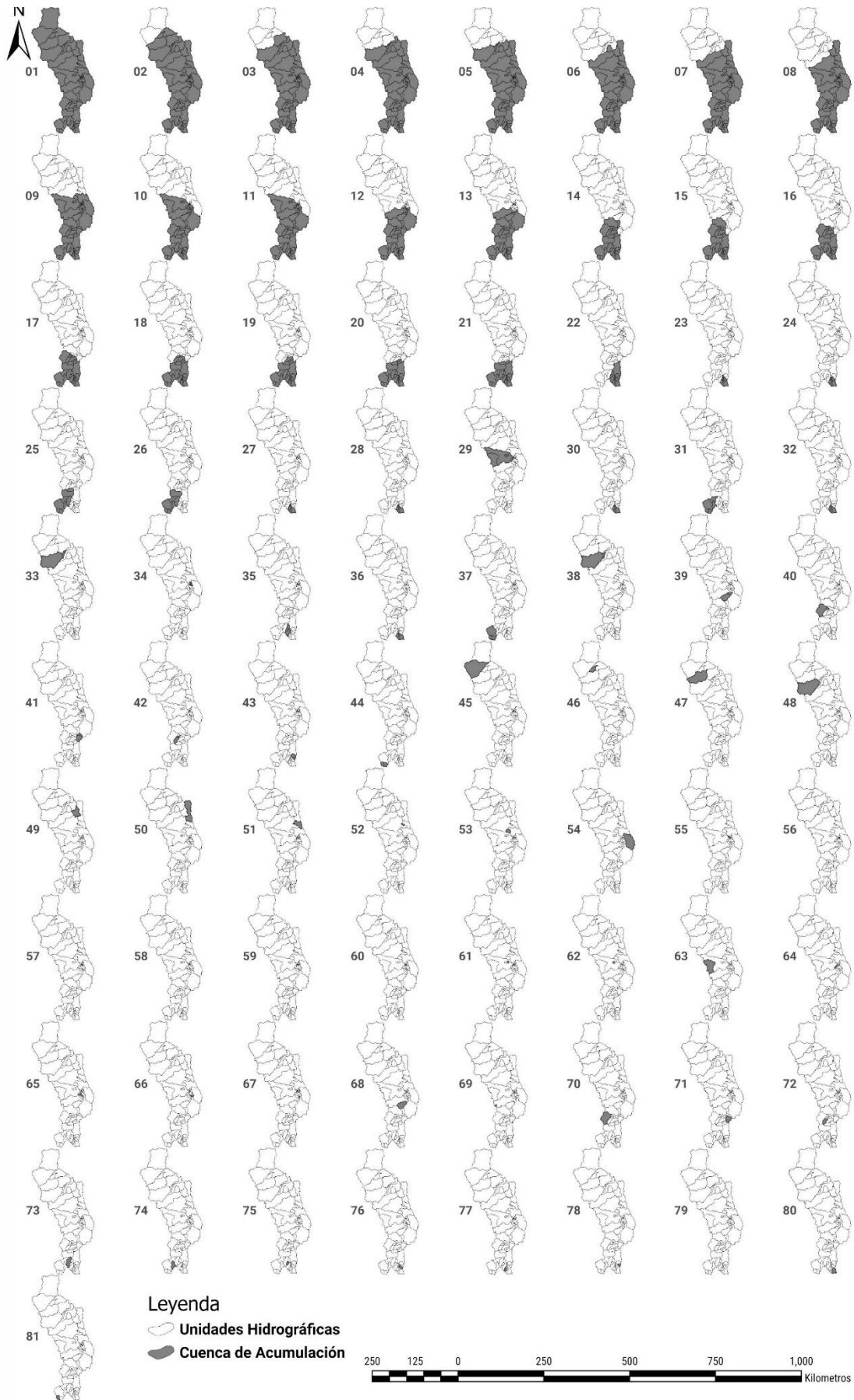


Figura 9. Acumulación de cuencas y Sub Unidades Hidrográficas (S-UH) de la IACH.

Tabla 20. Acumulación de cuencas de la Intercuenca Alto Huallaga.

S-UH	Acumulación de Cuencas
1	01-02-03-04-05-06-07-08-09-10-11-12-13-14-15-16-17-18-19-20-21-22-23-24-25-26-27-28-29-30-31-32-33-34-35-36-37-38-39-40-41-42-43-44-45-46-47-48-49-50-51-52-53-54-55-56-57-58-59-60-61-62-63-64-65-66-67-68-69-70-71-72-73-74-75-76-77-78-79-80-81
2	02-03-04-05-06-07-08-09-10-11-12-13-14-15-16-17-18-19-20-21-22-23-24-25-26-27-28-29-30-31-32-33-34-35-36-37-38-39-40-41-42-43-44-46-47-48-49-50-51-52-53-54-55-56-57-58-59-60-61-62-63-64-65-66-67-68-69-70-71-72-73-74-75-76-77-78-79-80-81
3	03-04-05-06-07-08-09-10-11-12-13-14-15-16-17-18-19-20-21-22-23-24-25-26-27-28-29-30-31-32-33-34-35-36-37-38-39-40-41-42-43-44-48-49-50-51-52-53-54-55-56-57-58-59-60-61-62-63-64-65-66-67-68-69-70-71-72-73-74-75-76-77-78-79-80-81
4	04-05-06-07-08-09-10-11-12-13-14-15-16-17-18-19-20-21-22-23-24-25-26-27-28-29-30-31-32-33-34-35-36-37-38-39-40-41-42-43-44-48-49-50-51-52-53-54-55-56-57-58-59-60-61-62-63-64-65-66-67-68-69-70-71-72-73-74-75-76-77-78-79-80-81
5	05-06-07-08-09-10-11-12-13-14-15-16-17-18-19-20-21-22-23-24-25-26-27-28-29-30-31-32-33-34-35-36-37-38-39-40-41-42-43-44-48-49-50-51-52-53-54-55-56-57-58-59-60-61-62-63-64-65-66-67-68-69-70-71-72-73-74-75-76-77-78-79-80-81
6	06-07-08-09-10-11-12-13-14-15-16-17-18-19-20-21-22-23-24-25-26-27-28-29-30-31-32-34-35-36-37-39-40-41-42-43-44-49-50-51-52-53-54-55-56-57-58-59-60-61-62-63-64-65-66-67-68-69-70-71-72-73-74-75-76-77-78-79-80-81
7	07-08-09-10-11-12-13-14-15-16-17-18-19-20-21-22-23-24-25-26-27-28-29-30-31-32-34-35-36-37-39-40-41-42-43-44-49-50-51-52-53-54-55-56-57-58-59-60-61-62-63-64-65-66-67-68-69-70-71-72-73-74-75-76-77-78-79-80-81
8	08-09-10-11-12-13-14-15-16-17-18-19-20-21-22-23-24-25-26-27-28-29-30-31-32-34-35-36-37-39-40-41-42-43-44-49-50-51-52-53-54-55-56-57-58-59-60-61-62-63-64-65-66-67-68-69-70-71-72-73-74-75-76-77-78-79-80-81
9	09-10-11-12-13-14-15-16-17-18-19-20-21-22-23-24-25-26-27-28-29-30-31-32-34-35-36-37-39-40-41-42-43-44-53-54-55-56-57-58-59-60-61-62-63-64-65-66-67-68-69-70-71-72-73-74-75-76-77-78-79-80-81
10	10-11-12-13-14-15-16-17-18-19-20-21-22-23-24-25-26-27-28-29-30-31-32-35-36-37-39-40-41-42-43-44-58-59-60-61-62-63-64-65-66-67-68-69-70-71-72-73-74-75-76-77-78-79-80-81
11	11-12-13-14-15-16-17-18-19-20-21-22-23-24-25-26-27-28-29-30-31-32-35-36-37-39-40-41-42-43-44-60-61-62-63-64-65-66-67-68-69-70-71-72-73-74-75-76-77-78-79-80-81
12	12-13-14-15-16-17-18-19-20-21-22-23-24-25-26-27-28-30-31-32-35-36-37-39-40-41-42-43-44-65-66-67-68-69-70-71-72-73-74-75-76-77-78-79-80-81
13	13-14-15-16-17-18-19-20-21-22-23-24-25-26-27-28-30-31-32-35-36-37-39-40-41-42-43-44-68-69-70-71-72-73-74-75-76-77-78-79-80-81
14	14-15-16-17-18-19-20-21-22-23-24-25-26-27-28-30-31-32-35-36-37-40-42-43-44-70-72-73-74-75-76-77-78-79-80-81
15	15-16-17-18-19-20-21-22-23-24-25-26-27-28-30-31-32-35-36-37-40-42-43-44-70-72-73-74-75-76-77-78-79-80-81
16	16-17-18-19-20-21-22-23-24-25-26-27-28-30-31-32-35-36-37-40-42-43-44-70-72-73-74-75-76-77-78-79-80-81
17	17-18-19-20-21-22-23-24-25-26-27-28-30-31-32-35-36-37-40-42-43-44-70-72-73-74-75-76-77-78-79-80-81
18	18-19-20-21-22-23-24-25-26-27-28-30-31-32-35-36-37-42-43-44-72-73-74-75-76-77-78-79-80-81
19	19-20-21-22-23-24-25-26-27-28-30-31-32-35-36-37-43-44-73-74-75-76-77-78-79-80-81
20	20-21-22-23-24-25-26-27-28-30-31-32-35-36-37-43-44-73-74-75-76-77-78-79-80-81
21	21-22-23-24-25-26-27-28-30-31-32-35-36-37-43-44-73-74-75-76-77-78-79-80-81
22	22-23-24-27-28-30-32-35-36-43-75-76-77-78-79-80
23	23-24-27-28-30-32-36-76-77-80
24	24-27-28-30-32-36-76-77-80
25	25-26-31-37-44-73-74-81
26	26-31-37-44-73-74-81
27	27-28-30-32-36-77-80
28	28-30-32-36-77-80
29	29-61-62-63-64
30	30-32-36-77-80
31	31-37-44-74-81
32	32-36-77-80
33	33-38-48
34	34-56-57
35	35-75-79
36	36-77-80
37	37-44-81
38	38-48
39	39-68
40	40-70
41	41-71
42	42-72
43	43-78
44	44-81
45	45
46	46
47	47
48	48
49	49
50	50
51	51
52	52
53	53
54	54
55	55
56	56
57	57
58	58
59	59
60	60
61	61
62	62
63	63
64	64
65	65
66	66
67	67
68	68
69	69
70	70
71	71
72	72
73	73
74	74
75	75
76	76
77	77
78	78
79	79
80	80
81	81

3.3.9. Base de datos

3.3.9.1. Parámetros de Calidad del Agua

Se recabó información de 1548 registros; la información fue organizada en columnas de Tabla para su posterior análisis.

Tabla 21. Organización de la Base Datos de los parámetros de Calidad del Agua

Columna	Descripción
ID	Identificador Único
Punto	Código del punto de Muestreo según la ANA
Este	Coordenadas UTM expresada en metros
Norte	
Descripción	Referencia geográfica del Punto
Cuerpo de Agua	Nombre del cuerpo de agua monitoreado
ALA	Nombre de la ALA a cargo
CAT.	Clasificación del cuerpo de agua según D.S. N° 004-2017-MINAM
Fuente	Informe de la ALA de donde se obtuvo la información
Campaña	Número de monitoreo y año
Fecha	Día de la medición y obtención de la muestra de agua
Hora	Hora de la medición y obtención de la muestra de agua

Fuente: Elaboración propia.

En los sucesivos, se identificaron 117 puntos de monitoreo, distribuidos en 15 campañas: 2014-I, 2015-I, 2016-I, 2017-I, 2017-II, 2018-I, 2018-II, 2019-I, 2019-II, 2019-III, 2019-IV, 2020-I, 2020-II, 2021-I y 2021-II. Sin embargo, en la presente investigación, solo se consideró las campañas del 2018 hasta el 2021, ya que, en este periodo, la ANA uniformizó la cantidad de puntos de monitoreo y PCA, en aplicación del D.S. N° 004-2017-MINAM. En el transcurso del 2014-2021, se modificó el código, ubicación, y/o frecuencia de monitoreo a 13 puntos; 14 puntos no se circunscriben en la ICAH; el punto “RCozo1” no registra información alguna, sin embargo, se menciona en la data de la campaña 2019-II; por otra parte, no se consideró 8 puntos, ya que no se pudo identificar la red de drenaje usando herramientas SIG, ni se encontró información geoespacial. En consecuencia, se establecieron 81 puntos de monitoreo, conformado por 486 registros, 6 campañas, tal como se resume en la Tabla 22.

Tabla 22. Resumen de los Datos de los parámetros de Calidad del Agua de la ICAH.

Campaña de Monitoreo	Periodo de Monitoreo	Temporada	Categorías	Puntos de Monitoreo	Cantidad de Parámetros
2018-I	21/06/2018 - 25/07/2018	Estiaje			
2018-II	27/11/2018 - 20/12/2018	Avenida			
2019-II	12/05/2019 - 03/07/2019	Estiaje	C3-D1, C4-E1 y	81	51
2019-IV	11/11/2019 - 18/12/2019	Avenida	C4-E2		
2020-II	09/11/2020 - 07/12/2020	Avenida			
2021-I	10/05/2021 - 04/06/2021	Estiaje			

Fuente: Elaboración propia.

Una vez definida la lista de puntos de monitoreo con su identificador (ID), se procedió a añadir los valores de los 51 parámetros de calidad del agua, tanto físicos, químicos y microbiológicos; para determinar el Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos (ICARHS) por cada ID “Punto de monitoreo en cada campaña”.

3.3.9.2. Parámetros de Macro-Escala

Luego de elaborar los mapas del parámetro de macro-escala (Uso de suelo, erosión hídrica, geología y densidad poblacional) en relación con la data de los Parámetros de calidad del agua y a la estandarización de información de la Tabla 19, se generó la base de datos por cada Sub Unidad Hidrográfica (delimitada en base a los puntos de monitoreo, 81), por cada campaña, haciendo un total de 486. Tal como se resumen en la Tabla 23

Tabla 23. Estructura de datos de los parámetros de macro-escala.

ID	S_UH	Uso del Suelo								Erosión Hídrica					Geología			Densidad Poblacional			
		Bosque	Vegetación Inundada	Agricultura	Urbano	Suelo Desnudo	Glaciar	Pastizal	U_S TOTAL	< 10 Tn/Ha-Año	10-50 Tn/Ha-Año	50-100 Tn/Ha-Año	100-200 Tn/Ha-Año	>200 Tn/Ha-Año	E_H TOTAL	Aporte Geoquímico Bajo	Aporte Geoquímico Medio	Aporte Geoquímico Alto	G_TOTAL	Densidad Poblacional (Hab/Km ²)	Densidad Poblacional Normalizada (1-100)
1	1	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	V	V
2	2	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	V	V
...	...	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	V	V
486	81	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	V	V

ID: Identificador del dato; S_UH: Sub Unidad Hidrográfica (1 de los 81); %: Valor del campo expresado en porcentaje; V: Valor numérico continuo

3.3.10. Flujograma de investigación

Se desarrolló un proceso secuencial, tal como se muestra en la Figura 10.

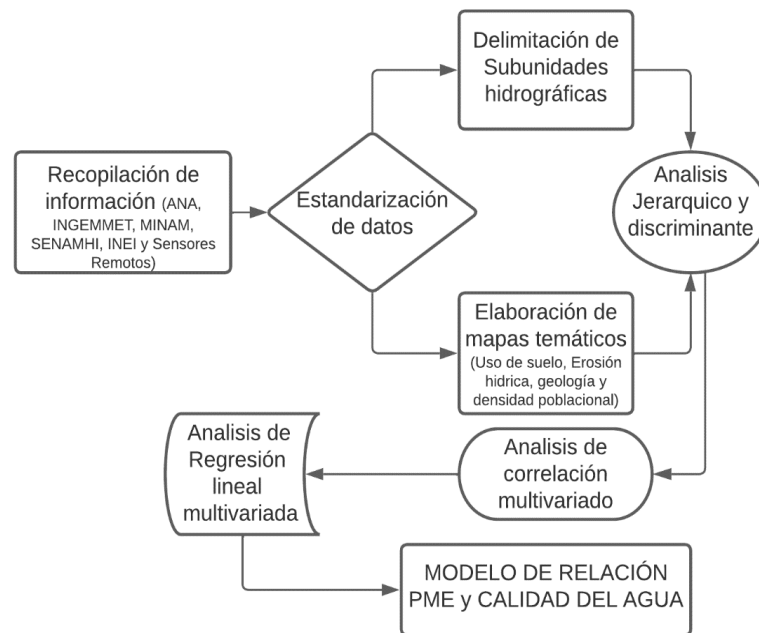


Figura 10. Flujograma del proyecto de investigación, Fuente: elaboración propia.

3.4. Metodología

3.4.1. Análisis de la relación de los Parámetros de Macro Escala (PME) y los Parámetros de Micro Escala de Calidad del Agua (PMECA)

3.4.1.1. Método de Proceso de Análisis Jerárquico AHP

Consistió en la representación de juicios de valor de diferentes expertos, sobre la comparación de los Parámetros de Macro-Escala y su efecto sobre los Parámetros de Calidad del Agua a Micro-Ecala (Mendoza et al., 2018).

Para lo cual, se aplicó un instrumento de comparación de pares de los PME(Anexo B-1), a profesionales responsables del Análisis de la Calidad del Agua de la ANA que laboran en el área de estudio (ICAH). La validación del instrumento estuvo a cargo de profesionales especializados en Calidad del Agua (ver Anexo A-1), detallados en la Tabla 24.

Tabla 24. Expertos de la validación del instrumento relación de PME y PMECA.

Nº	Apellidos y Nombres	Profesión	Institución	Puntuación
1	Paredes Salazar, José L.	Ing. Químico	UNAS	75
2	Rau Lavado, Pedro C.	Ing. Civil	UTEC	78
3	Espíritu Limay, César G.	Lic. Química	OEFA	65

Fuente: Elaboración propia.

Según Hernández et al. (2018), la validación por expertos de un instrumento debe ser superior al 80%, cuyo caso no se dio, y el resultado fue de 72.67%, sin embargo las observaciones de los expertos se centraron principalmente en la relación entre los PME y los PMECA a un nivel micro; no obstante, esta relación es el objetivo central de la presente investigación y está respaldada por estudios previos de alto impacto, tal como se evidencia en el trabajo de Bostanmaneshrad et al. (2018), el cual valida la premisa de que los PME pueden utilizarse para evaluar la calidad del agua, aunque el nivel de acuerdo fue del 72.67%, el índice de consistencia de parte de los expertos fue inferior al 0.10, lo que confirma la coherencia con la literatura (ver Anexo A-2). Por lo tanto, el instrumento se consideró viable para su aplicación.

Los cuatro PME que influyen en la Calidad del Agua (PMECA), fueron analizados empleando la conversión de la escala Saaty de “1 - 9” a “1- 3” debido a la ligera diferencia entre los PME y los que lo conforman (Bostanmaneshrad et al., 2018), son detallados en la Figura 11.

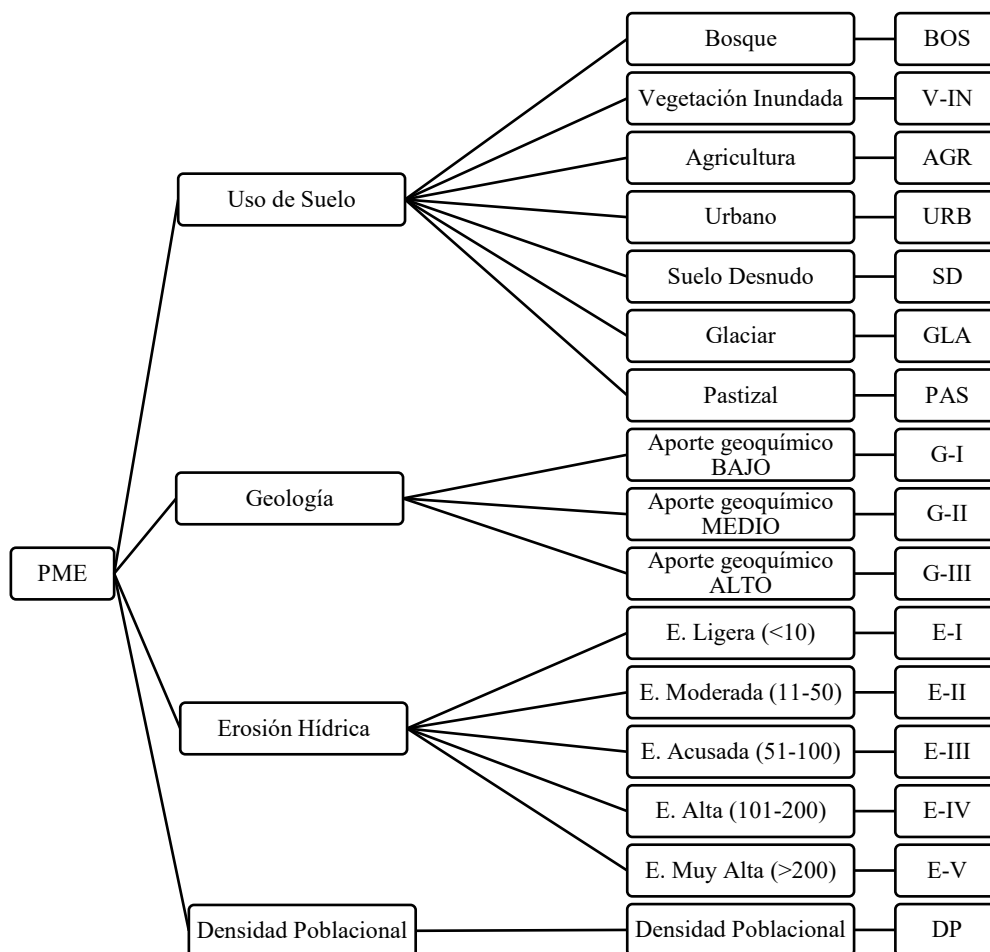


Figura 11. Criterios de la comparación de Pares

3.4.1.2. Análisis estadístico

a. Correlación de Pearson entre PME y PMECA

Cuantificados los diversos PME y los PMECA, estas se agruparon en nueve (9) series de datos, de los cuales seis (6) corresponden a cada campaña de monitoreo: 2018-I, 2018-II, 2019-II, 2019-IV, 2020-II y 2021-I; uno (1) al grupo de datos en época de estiaje compuesta por las Campañas 2018-I, 2019-II y 2021-I; seguido del grupo de Avenida compuesta por: 2018-II, 2019-IV y 2020-II, y finalmente todas las campañas en bloque, haciendo uso del Software SPSS se determinó la correlación de Pearson para cada una de las series.

Posteriormente en el Microsoft Excel, se realizó la clasificación en función de su correlación de Pearson, según los intervalos mostrados en la Tabla 25; además si el p-valor o r es <0.05 , se consideró que existe correlación y es significativo al 95%, mientras que si el p-valor o r es <0.01 , se consideró que existe correlación muy significativa al 99% (Hernández et al., 2018).

Tabla 25. Coeficiente de correlación de Pearson

r	Coeficiente de Correlación de Pearson Grado de Correlación
$0.90 \leq r < 1.00$	Correlación Perfecta
$0.75 \leq r < 0.90$	Correlación Muy Fuerte
$0.50 \leq r < 0.75$	Correlación Considerable
$0.25 \leq r < 0.50$	Correlación Media
$0.10 \leq r < 0.25$	Correlación Débil
$0.00 \leq r < 0.10$	Correlación Muy Débil

Fuente: Hernández et al. (2018).

b. Análisis de Conglomerados

Se realizó un análisis de conglomerados jerárquico usando RStudio mediante el Script 8 del Anexo F, a los variables PME y PMECA donde éste último agrupa a 24 parámetros de calidad del agua, que fueron seleccionados en función a la Correlación de Pearson. En el RStudio, se descartaron las variables sin variación y se estandarizaron los datos, debido a su diferencia de valores y unidades con puntajes z, el cual significa que a cada valor se le restó el promedio de su variable, y se le dividió entre su desviación estándar; así cada variable quedó con media de 0 y desviación de 1. Luego, se eligió el número de conglomerados (K) de 5, justificado en la Tabla 26, que se muestra a continuación.

Tabla 26. Numero de Clústeres (K) obtenidos según criterios

Criterio	Evidencia observada	K sugerido
Método del codo	Punto de inflexión marcado	3
NbClust	Óptimo en rangos altos	10
Silhouette	Cohesión/Separación mejoró al aumentar K>3	4-8
Gap statistic	Brecha aumentó hasta K intermedios/altos	4-10

Fuente: Elaboración Propia.

Dado que no hubo una coincidencia entre los criterios, se seleccionó K=5, dado que es razonable por la convergencia de criterios observados, y similares a lo empleado por Bostanmaneshrad et al. (2018), se consideraron como una cantidad de grupos suficientes, que son separados sin sobre segmentar la estructura (Charrad et al.,2014). Este método se aplicó a las 9 serie de datos, entre los PME y los PMECA, detallados en la Tabla 27.

Tabla 27. Grupo de variables

Parámetro de Macro-Escala (PME)			Parámetros de Micro-Escala de Calidad del Agua (PMECA)		
Símbolo	Descripción	Unidad	Símbolo	Descripción	Unidad
DP	Densidad Poblacional Normalizada		A&G	Aceites y Grasas	
E-I	Erosión Hídrica Ligera		NH3-N	Amoniaco	
E-II	Erosión Hídrica Moderada		Cl-	Cloruros	
E-III	Erosión Hídrica Acusada		DBO5	Demanda Bioquímica de Oxígeno	
E-IV	Erosión Hídrica Alta		DQO	Demanda Química de Oxígeno	mg/L
E-V	Erosión Hídrica Muy Alta		SAAM	Detergentes SAAM	
BOS	Uso de Suelo-Bosque		PT	Fosforo Total	
V IN	Vegetación Inundada	%	NT	Nitrógeno Total	
AGR:	Agricultura		OD	Oxígeno Disuelto	
URB	Urbano		pH	Potencial de Hidrogeno	pH
SD	Suelo Desnudo		SO42-	Sulfatos	
GLA:	Glaciar		S2-	Sulfuros	mg/L
PAS	Pastizal		T	Temperatura	°C
G-I	Aporte Geoquímico Bajo		As	Arsénico	
G-II	Aporte Geoquímico Medio		B	Boro	
G-III	Aporte Geoquímico Alto		Li	Litio	
			Mg	Magnesio	
			Mo	Molibdeno	mg/L
			K	Potasio	
			Si	Silicio	
			Na	Sodio	
			U	Uranio	
			CT	Coliformes Termotolerantes	
			EC	<i>Escherichia Coli</i>	NPM

c. Análisis de Discriminante

Se realizó la identificación de los PME que se discriminan mejor los PMECA, de la Tabla 27, se aplicó a tres series de datos, dichas series son: Serie 7 “Estiaje”, Serie 8 “Avenida” y Serie 9 “Total”; se realizó el control de consistencia, tratamiento de datos faltantes, estandarización z-score de los PME, y agruparon los PMECA en 5,4 y 3 cuantiles para transformarlas en variables categóricas, tal como se realizó en la investigación de Bostanmaneshrad et al. (2018).empleando el software RStudio (versión 4.4.), mediante el Script 9 del Anexo F, donde se aplicó un análisis discriminante lineal (LDA) de tipo Stepwise o Marginal, con el objetivo de identificar qué variables de macro-escala poseen mayor capacidad para discriminar entre las clases formadas por cada PMECA (Bostanmaneshrad et al., 2018), donde se calcularon los siguientes estadísticos:

- **Lambda de Wilks (λ)**
Mide la proporción de varianza no explicada por las diferencias entre los grupos. Valores menores a 1 indican una mejor capacidad discriminante (Gu et al., 2016; Hair et al., 2019).
- **Estadístico F de Rao**
Se deriva del λ , utilizado para contrastar la hipótesis nula de igualdad de medias entre los grupos.
- **p-valor asociado**
Calculado a partir del estadístico F, el cual indica la significancia de la discriminación. Una $p < 0.05$ evidencia una diferencia significativa entre los grupos.

Una vez calculado el λ marginal para cada PME con sus respectivos valores F y p-valor, mediante validación cruzada estratificada (k-fold). Las variables con menor λ marginal, mayor F y $p < 0.05$ se consideraron las de mayor influencia sobre las categorías del PMECA, donde finalmente, los resultados se organizaron en tablas para cada serie de datos (Estiaje, Avenida y Total), ordenados por su λ marginal de manera ascendente, destacando las cinco con mejor poder discriminante, permitiendo jerarquizar los Parámetros de Macro-Escala con mayor efecto sobre la variabilidad de los Parámetros de Micro-Escala de Calidad del Agua, siguiendo los enfoques de análisis discriminante reportados por Gu et al. (2016) y Bostanmaneshrad et al. (2018).

d. Proyección final

Corresponde a la integración final de los análisis previos a) Correlación de Pearson, b) Análisis de Conglomerados y c) Análisis de Discriminante, en pares de PME y PMECA cuya regla para conservar los PME por cada PMECA es que al menos sean considerados relevantes en dos de los tres análisis, tal como se trabajó en Bostanmaneshrad et al. (2018), para las tres series de datos de Serie 7“Estiaje”, Serie 8 “Avenida” y Serie 9“Total”.

3.4.2. Evaluación de la influencia de la distancia de Recorrido Hidrológico en la relación entre los PME y los PMECA

El procedimiento metodológico se desarrolló en tres fases importantes: preparación de insumos espaciales, modelamiento de distancias y pesos ponderados, y análisis zonal integrador.

En la primera fase se empleó un Modelo Digital de Elevación (DEM), modificado en función de los cauces reales que se observan en Google Earth Pro, mediante la metodología de "Stream Burning" en Google Earth Engine, el cual modifica la topografía del DEM para adaptarse al flujo de agua real. Sobre este nuevo DEM se realizaron operaciones de *Fill*, *Flow Direction* y *Flow Accumulation*, las cuales permitieron identificar la dirección y magnitud del flujo de agua superficial. Producto del cual, se normalizó la distancia acumulada de la red en una escala de 0 a 1, para lo cual se dividió *Flow Accumulation* con su máximo valor. El nuevo Raster constituyó la base para el cálculo de la distancia hidrológica ($1/r$) tal como se desarrolló en la investigación de Bostanmaneshrad et al. (2018), en la que cada celda adquirió un valor inversamente proporcional a su recorrido aguas abajo, reflejando así la influencia de las condiciones geográficas conforme se incrementa la longitud de flujo. Así mismo, se interceptó la hídrica obtenida del nuevo DEM con las estaciones (Puntos de Monitoreo de Calidad de Agua), y sobre esta red se calcularon dos tipos adicionales de distancias:

- Distancia paralela

Es el resultado de la distancia lateral al eje del cauce que presente como mínimo un punto de monitoreo de calidad del agua, donde se cuantificó el gradiente longitudinal de influencia, especialmente para representar los procesos continuos de arrastre y mezcla a lo largo del recorrido del cauce de los distintos PME, para lo cual se empleó *Euclidean Distance* de ArcGis Pro, a una resolución de 30m por pixel enmascarado para el área total de la Intercuenca Alto Huallaga.

- **Distancia radial**

Se determino para cada estación o punto de monitoreo de los PMECA hacia su espacio inmediato, representa un patrón isotrópico de dispersión, el cual es ideal para estimar efectos locales como vertimientos o transformaciones del uso del suelo circundante y fue empleado por de Bostanmaneshrad et al. (2018), además se utilizó *Euclidean Distance* de ArcGis Pro como herramienta de cálculo geométrico para la distancia en metros (m).

- **Distancia Hidrológica**

Es la distancia de recorrido hidrológico que va desde las divisorias de agua hasta un cauce de agua principal (Bostanmaneshrad et al., 2018), y se determinó en base a la Acumulación de flujo de la red hidrológica obtenida del DEM modificado (r), cuya ponderación exclusiva para esta distancia es $1/r$ donde el resultado final del ráster va desde 0 a 1, donde 0 es la región hidrográfica que no presenta flujo de agua, y mientras que los valores más cercanos a 1 representan que éste se encuentra muy cerca de un flujo de agua principal o de orden mayor según el método de Strahler.

3.4.2.1. Ponderación de Distancias Radial y Paralela

Cada una de estas capas de distancia fue convertida en ráster de pesos espaciales aplicando funciones inversas ($1/r$ y $1/\ln(r)$) que ponderan la influencia decreciente con la distancia, esto quiere decir que a mayor distancia de la red de cauces de agua o de la estación de monitoreo de Calidad del Agua, el efecto de los PME es menor y a la inversa. Para la obtención de esta ponderación se empleó la herramienta *Raster Calculator* del ArcGis Pro.

3.4.2.2. Estandarización de los PME

Los PME en formato ráster, fueron ordenados de manera jerárquica para cada una de sus subvariables luego de promediarlas para el periodo 2018-2021, en función de lo obtenido en la comparación de pares (método AHP) para Uso del Suelo, Erosión Hídrica, Geología y Densidad Poblacional descritos en el Ítem 3.4.1.1, los mismos que fueron integrados a las capas temáticas correspondientes, mediante operaciones de álgebra de ráster (*Raster Calculator*) en el software ArcGis Pro. Luego de ello, los PME fueron multiplicados por las diferentes ponderaciones (Tabla 28), de esta forma, se obtuvieron superficies ponderadas que combinan la magnitud espacial del parámetro y su grado de relevancia en la dinámica hidrológica.

Tabla 28. Ponderaciones de distancias empleadas para los PME

PME	Distancia	Ponderación
Uso de Suelo	Radial	1/r y 1/ln(r)
	Paralela	
	Hidrológica	1/r
Densidad Poblacional	Radial	1/r y 1/ln(r)
	Paralela	
	Hidrológica	1/r
Erosión Hídrica	Radial	1/r y 1/ln(r)
	Paralela	
	Hidrológica	1/r
Geología	Radial	1/r y 1/ln(r)
	Paralela	
	Hidrológica	1/r

Luego las 81 Sub Unidades Hidrográficas (S-UH) delimitadas y asociadas a cada estación de PMECA, se ingresaron a la herramienta *Zonal Statistics as Table*, obteniéndose así los valores estadísticos de sumatoria total y promedio ponderado de cada PME por cada S-UH. Los resultados se exportaron a tablas en formato Excel, constituyendo la base de datos para el análisis estadístico en RStudio, donde se evaluaron las correlaciones entre los PME y PMECA e ICARHS bajo cada esquema de distancia.

3.4.2.3. Depuración de datos atípicos

Antes de evaluar los efectos de las distintas distancias, sobre la relación entre los Parámetros Macro-Escala (PME) y la Calidad del Agua, se llevó a cabo el proceso de depuración estadística de los datos. Este paso previo, se basó en el enfoque utilizado por Bostanmaneshrad et al. (2018), combinando técnicas de regresión lineal, distancia de Cook y análisis gráfico mediante diagramas de caja (Ver Anexo E-4), el cual se realizó para las tres series de datos: Estiaje, Avenida y Total.

Donde finalmente, haciendo uso de la Inteligencia Artificial se procedió a realizar la regresión lineal múltiple de manera preliminar entre el Índice de Calidad -ICARH, los PMECA seleccionados en el Ítem 3.4.1 y los cuatro PME: Uso del Suelo (UAT), Densidad Poblacional (DP), Erosión Hídrica (EH) y Geología (GEO), con sus respectivas ponderaciones en función de la distancia hidrológica 1/r y 1/Ln(r), los cuales se aplicaron sin depuración de datos, cuyo propósito principal fue servir de base para el diagnóstico de las observaciones influyentes.

3.4.3. Desarrollo del modelo predictivo de Calidad del Agua en función de los PME, empleando Regresión Lineal Múltiple (RLM)

El procedimiento empleado para construir los modelos estadísticos que permiten predecir la calidad del agua en función de los Parámetros de Macro-Escala (PME), siguiendo la estructura conceptual del estudio base de Bostanmaneshrad et al. (2018) y el orden metodológico definido previamente en los ítems 3.4.1 y 3.4.2 de este informe. Por lo que, en esta parte, se integró técnicas de estadística multivariada, análisis de efectos de distancia y procedimientos automatizados sustentados en inteligencia artificial (IA) para la generación de variables geoespaciales.

3.4.3.1. Elaboración del modelo predictivo

Se formuló un modelo de Regresión Lineal Múltiple (RLM) para cada PMECA y para el ICARHS. La ecuación número 6 es la que se planteó en esta parte.

$$Y = C_0 + C_1(UAT) + C_2(DP) + C_3(EH) + C_4(GEO) + \varepsilon \quad (6)$$

Donde:

Y	:	Variable dependiente (PMECA o ICARHS)
UAT, DP, EH y GEO	:	PME ponderados para cada tipo de Distancia
C _i	:	Coficiente del Modelo
ε	:	Valor del Error Aleatorio

Esta estructura metodológica replica lo realizado por Bostanmaneshrad et al. (2018), quienes demostraron que los modelos multivariados permiten cuantificar de manera directa el efecto espacial de los PME sobre los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua. Además, para emplear el método de RLM los valores empleados fueron los resultados ponderados de los PME, el cual representa la relación lineal inicial entre las variables.

3.4.3.2. Validación de los modelos

En esta parte se realizó la validación del modelo obtenido (evaluación) mediante la estimación del coeficiente de determinación (R^2), comparación del ajuste por tipo de distancia y la interpretación de la magnitud y signo de los coeficientes. El análisis se aplicó por cada serie hidrológica (Total, Estiaje, Avenida, 2021-I), permitiendo contrastar la sensibilidad espacial de cada PMECA bajo distintos escenarios hidrodinámicos. El producto final constituye una herramienta predictiva para estimar la variación de parámetros clave de calidad del agua en función de la estructura espacial de la cuenca. .

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis de la relación de los Parámetros de Macro Escala (PME) y los Parámetros de Micro Escala de Calidad del Agua (PMECA)

4.1.1. Del método de Análisis de Proceso Jerárquico (AHP)

La estimación de pesos obtenida mediante el Proceso Analítico Jerárquico (AHP) permitió priorizar la contribución relativa de los Parámetro de Macro-Escala (PME) sobre la calidad del agua, para lo cual se desarrolló la comparación de pares por expertos en Calidad del Agua, donde se obtuvo que el Densidad Poblacional (DP) fue considerada la de mayor peso sobre su influencia en la calidad del agua con un valor de 30.46%, seguido del Uso del Suelo (UAT) con el 27.26%, Erosión Hídrica (EH) con 23.27% y Geología (GEO) con un 19.01% siendo considerado el de menor influencia en la calidad del agua tal como se puede observar en la Tabla 29. En concordancia con la investigación realizada por Bostanmaneshrad et al. (2018), el peso de los PME asignados fueron: para UAT 29.80% seguido de 22.40% para DP, 23.90% para GEO y 23.70% para EH, donde además la Relación de Consistencia (RC) fue menor a 0.0001, debido a que no hay tanto margen de variación de los pesos de los PME, sin embargo, se considera que los PME UAT y DP son considerados más relevantes para analizar su influencia en la calidad del agua.

Tabla 29. Peso ponderado de los cuatro Parámetros de Macro Escala (PME)

Parámetro Macro-Escala	Peso Ponderado (%)	Relación de Consistencia (RC)
Geología	19.01	
Erosión Hídrica	23.27	0.0242
Uso de Suelo	27.26	
Densidad Poblacional	30.46	

En los sub-parámetros del Uso del Suelo (UAT) los resultados indican que las áreas Agrícolas (AGR) obtuvieron el mayor peso (25.99%), seguidas de las Urbanas (URB) (19.41%), Suelo Desnudo (SD) (15.89%), Vegetación Inundada (V IN) (13.90%), Pastizales (PAS) (11.44%), Glaciares (GLA) (7.41%) y Bosques (BOS) (5.96%). La relación de consistencia (0.019) fue inferior al umbral de 0.05, por lo que la matriz comparativa se consideró válida y coherente. Según los expertos que participaron, y que consideraron a las actividades agrícolas, como parámetro de mayor potencial que influiría en la calidad del agua,

coincide con lo evidenciado por Cerna et al., (2022) quienes demostraron que los sistemas agrícolas intensivos incrementan de manera significativa la carga de nutrientes, la turbidez y la concentración de sólidos en los cuerpos de agua debido al uso de fertilizantes nitrogenados y fosfatados, así como al arrastre de sedimentos producto de la remoción del suelo y el riego por gravedad; además contrastando con los resultados del estudio de Bostanmaneshrad et al. (2018), se observan similitudes y diferencias importantes. En su investigación, el Sub-Parámetro Urbano fue el de mayor peso (0.513), seguido del Bosque (0.205) y el Secano (Dry farming) (0.154). Aunque ambos estudios coinciden en atribuir un papel significativo a las actividades antrópicas (agrícolas y urbanas), en el presente análisis el peso agrícola supera al urbano, lo que puede estar asociado al contexto territorial de la ICAH, caracterizado por una expansión agrícola más dominante que la expansión urbana,

Tabla 30. Peso ponderado de los Sub Parámetros de Macro Escala Uso del Suelo

Uso de Suelo	Peso Ponderado (%)	Relación de Consistencia (RC)
Urbano	19,41	
Agricultura	25,99	
Suelo Desnudo	15,89	
Vegetación Inundada	13,90	0,019
Pastizal	11,44	
Glaciar	7,41	
Bosque	5,96	

En los Sub-Parámetros de Geología (GEO) los resultados mantienen un orden jerárquico en función de su intensidad (Tabla 31), en primer lugar, el Aporte Geoquímico Alto (G-III) con el mayor peso (49.66%), seguidas de Aporte Geoquímico Medio (G-II) (28.54%) y Aporte Geoquímico Bajo (G-I) (21.80%), lo que evidencia que los expertos reconocen a las formaciones con mayor potencial de liberación de solutos (unidades fuertemente mineralizadas o con alta reactividad geoquímica) como el principal condicionante geogénico de la calidad del agua frente a unidades de contribución media y baja, tal como se evidenció por Reimann et al. (2009), donde las mayores concentraciones de Ca, SO_4^{2-} y otros iones inorgánicos, mientras que los tramos sobre gneises cristalinos y suelos orgánicos delgados muestran conductividades más bajas, confirmando que la litología controla el nivel de fondo de los solutos inorgánicos en

los cursos de agua. Por otra parte, Baba y Gündüz (2017), demostraron que las aguas provenientes de formaciones volcánicas presentan bajos niveles de pH, elevada conductividad y concentraciones metales traza, en varios casos por encima de los estándares internacionales de potabilidad, por lo que el alto aporte geoquímico se asocia a una mayor carga de iones y metales, así como a un mayor riesgo para la salud humana, además Bostanmaneshrad et al. (2018) mostraron que las unidades litológicas más reactivas y erosionables explican la variabilidad de parámetros fisicoquímicos como la conductividad eléctrica y los sólidos totales, por lo que las formaciones de alto aporte geoquímico deben recibir la mayor ponderación porque controlan en mayor medida la liberación de iones hacia la red de drenaje, mientras que las unidades de aporte medio y bajo ejercen un bajo efecto sobre la calidad del agua superficial.

Tabla 31. Peso ponderado de los Sub Parámetros de Macro Escala Geología

Geología	Peso Ponderado (%)	Relación de Consistencia (RC)
Aporte Geoquímico Bajo	21,80	
Aporte Geoquímico Medio	28,54	0,017
Aporte Geoquímico Alto	49,66	

Finalmente, los Sub-Parámetros de Erosión Hídrica (EH), evidencian un patrón jerárquico de manera ascendente (Tabla 32): Erosión Muy Alta obtuvo el mayor peso (32.44%), seguida de Erosión Alta (23.45%), Erosión Acusada (17.45%), Erosión Moderada (14.29%) y Erosión Ligera (12.37%), con una relación de consistencia ($RC = 0.027$) dentro del rango aceptable. Esta priorización concuerda con la clasificación internacional de la FAO(UNESCO. 1980), que establece umbrales de pérdida de suelo desde el umbral <10 t/ha-año hasta >200 t/ha-año, donde los niveles altos de erosión, representan los escenarios de mayor degradación y generación de sedimentos.

Los resultados obtenidos de la comparación de pares, guarda relación con lo demostrado por Giménez (2012), que evidenció que la erosión muy alta (>200 t/ha-año) contribuyen en gran medida al transporte de sedimentos, especialmente cuando la cobertura vegetal es escasa, presentando una mayor susceptibilidad al desprendimiento y arrastre de partículas, de material suspendido hacia la red de drenaje, afectando parámetros críticos como la turbidez, sólidos suspendidos totales y transporte de fósforo particulado (Walling, 1988), por lo que el orden jerárquico obtenida refleja la coherente relación entre estos Sub-Parámetros del PME con la calidad del agua.

Tabla 32. Peso ponderado de los Sub Parámetros de Macro Escala Erosión Hídrica

Erosión Hídrica	Peso Ponderado (%)	Relación de Consistencia (RC)
E. Ligera (<10 Tn/Ha-Año)	12,37	
E. Moderada (11-50 Tn/Ha-Año)	14,29	
E. Acusada (51-100 Tn/Ha-Año)	17,45	0,027
E. Alta (101-200 Tn/Ha-Año)	23,45	
E. Muy Alta (>200 Tn/Ha-Año)	32,44	

Clasificación de Niveles de Erosión Según FAO citado por informe de UNESCO 1980.

4.1.2. De las correlaciones de Pearson

Luego de realizar la comparación bivariada en el SPSS, a los 51 Parámetros de Calidad del Agua a Micro-Escala(PMECA), con los Parámetros de Macro-Escala (PME) a nivel de sus Subcategorías que conforman cada Sub Unidad Hidrográfica (S-UH), de la Intercuenca Alto Huallaga, se obtuvo un resultado donde, 24 de los 51 PMECA, presentaron una correlación de Pearson Alta $|\pm r| > 0.5$ (Hernández et al., 2014) con un nivel de significancia menor a 0.05 (significativo) y en algunos casos menor a 0.01 (muy significativo) para las nueve (9) serie de datos; los mismos que se puede visualizar en el Anexo E-2 del presente documento. Para esta parte del análisis, se seleccionaron 24 PMECA que superaron la correlación de Pearson $|r| > 0,5$.

Para la primera serie de datos que comprende la campaña de monitoreo 2018-I, el cual se desarrolló en el periodo 21 de junio al 25 de julio del 2018, se obtuvo una fuerte correlación entre los Sub parámetros de PME de Bosque, Pastizal (UAT)y Erosión moderada, acusada y Alta (EH), con el PMECA Temperatura valores superiores a 0,75 (Figura 12).

Estas relaciones sugieren una fuerte influencia de la cobertura vegetal y de los procesos erosivos sobre las condiciones térmicas del agua. Se han reportado casos similares que han demostrado que áreas con mayor cobertura vegetal regulan la temperatura mediante sombreado y control del intercambio energético entre el aire y el agua, mientras que zonas con mayor erosión favorecen el transporte de sedimentos finos que incrementan la absorción térmica (Bedim Godoy et al., 2020; Aldrete Malpartida, 2022). Asimismo, la relación entre erosión y temperatura se ve reforzada por el aumento de sólidos suspendidos, los cuales alteran las propiedades térmicas del cuerpo de agua.

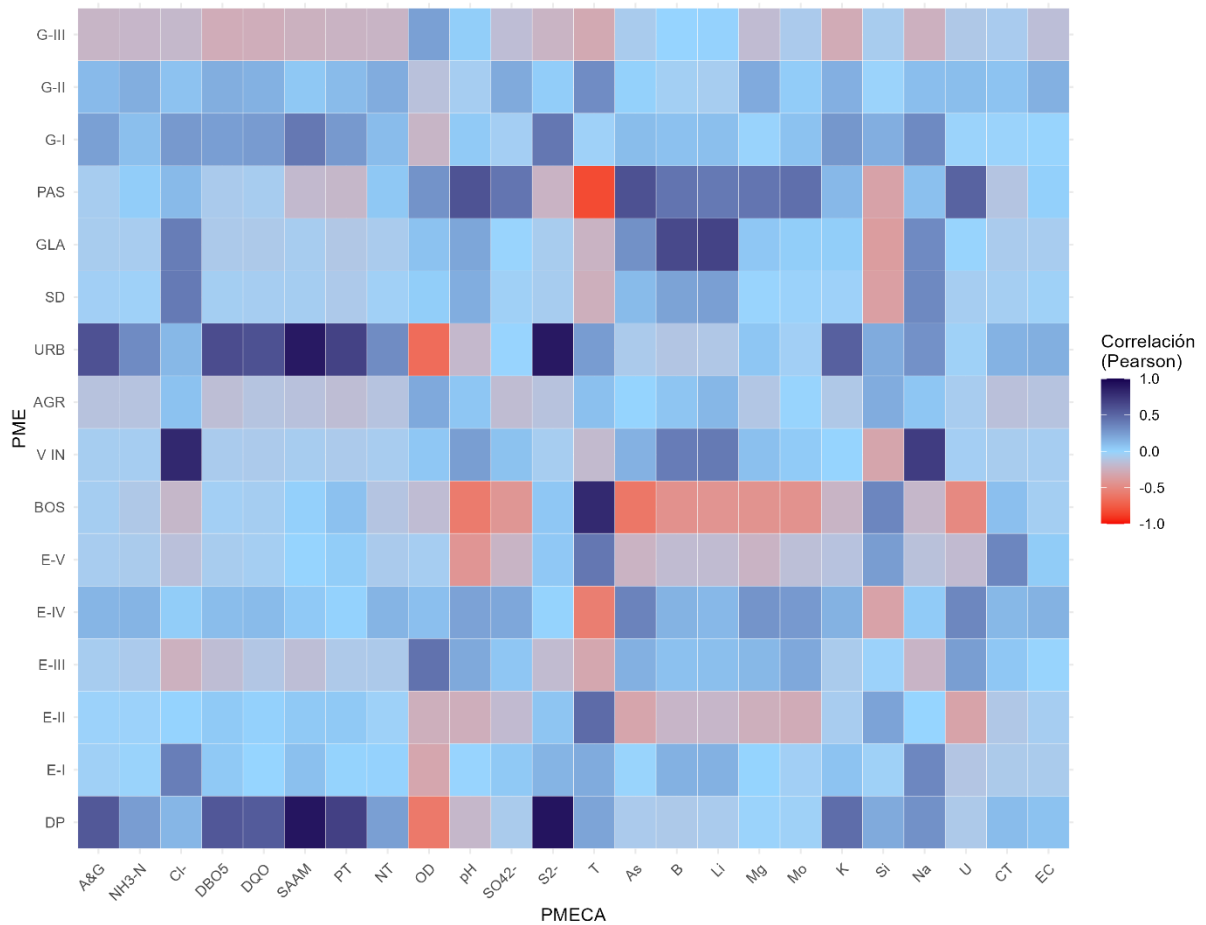


Figura 12. Correlación de la serie 1 de la campaña 2018-I.

En la segunda serie de datos, 2018-II cuyos PMECA fueron obtenidos en el periodo de tiempo del 27/11/2018 al 20/12/2018, se encontró que el uso de suelo urbano y la densidad poblacional están muy relacionados a *Escherichia Coli*, Coliformes Termotolerantes, OD, DQO, Nitrógeno Total, Sulfuros, Aceites y Grasas y DBO (Figura 13). Este patrón es característico de las unidades hidrográficas que presente una gran presión urbana, donde la descarga de aguas residuales domésticas, el escurrimiento superficial urbano y la limitada infraestructura de saneamiento influyen directamente en la calidad del agua.

Así mismo, resultados similares fueron encontrados en la cuenca del río Piquiri (Brasil), donde los mayores valores de *Escherichia Coli*, DBO y nutrientes se concentraron en sectores urbanos y afluentes secundarios (Godoy et al., 2020). En el contexto peruano, estudios en la cuenca del Rímac evidencian comportamientos similares, asociando estos parámetros a fuentes domésticas y urbanas (Aldrete Malpartida, 2022).

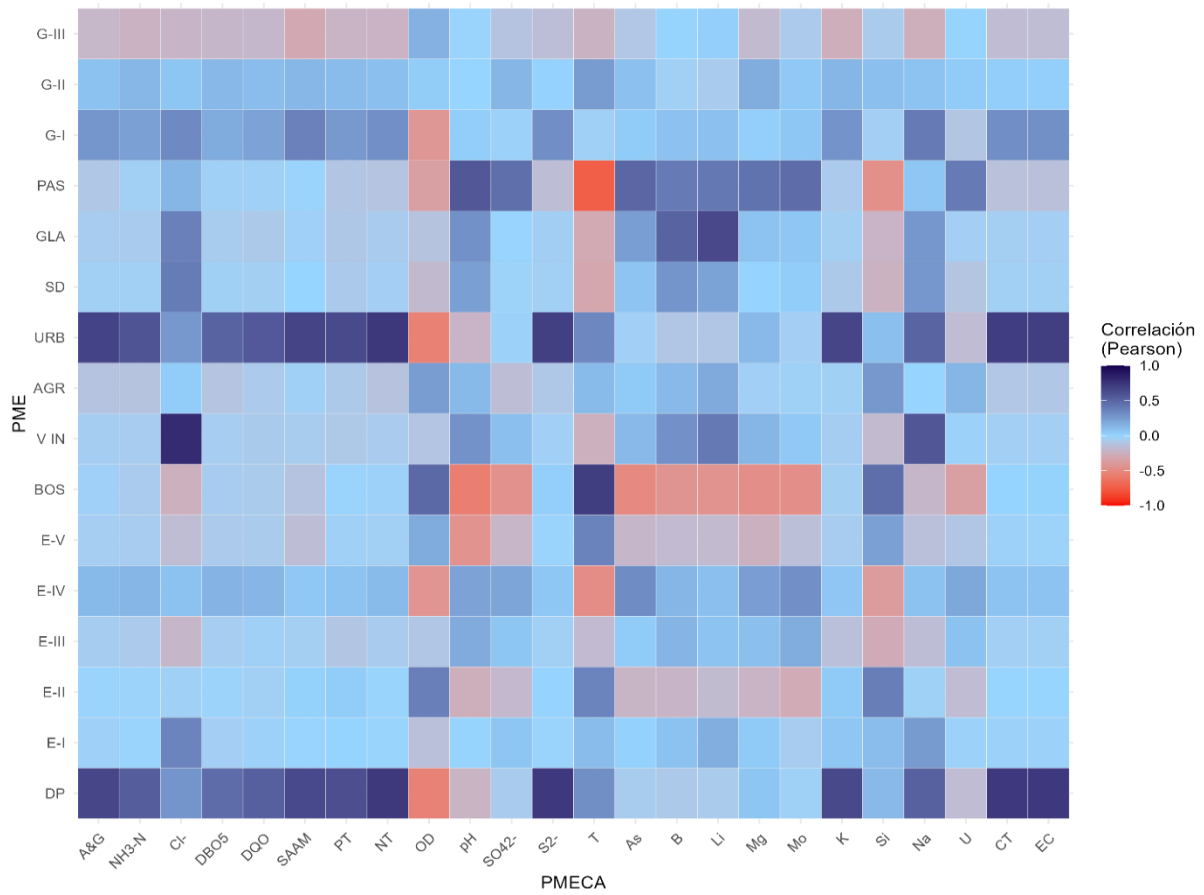


Figura 13. Correlación de la serie 2 de la campaña 2018-II.

Para la tercera serie de datos que corresponde a la campaña del 2019-II que fue monitoreado entre las fechas de 12/05/2019 al 03/07/2019 , y la cuarta serie de datos que corresponde a la campaña 2019-IV del periodo 11/11/2019 al 18/12/2019 , los PME Densidad Poblacional y Uso del Suelo Urbano, están fuertemente asociados a los PMECA: DBO5, Detergentes SAAM, Sulfuros, *Escherichia Coli*, Coliformes Termotolerantes, además el PMECA de Temperatura con el Sub PMECA de Pastizal (UAT) donde se reafirma la relación encontrada en la segunda serie de datos; mientras que en estas series de datos se evidenció que del PME: UAT el Glaciar tiene una alta relación; como se evidencian en las Figuras 14 y 15.

La correlación positiva entre Litio y los glaciares sugiere un control geogénico del parámetro, vinculado a la meteorización de materiales litológicos y a la liberación natural de elementos traza, tal como se documenta en estudios geoquímicos de aguas superficiales y subterráneas en contextos montañosos y mineralizados (Mueller et al., 2007). Este comportamiento también es consistente con el enfoque de Bostanmaneshrad et al. (2018), quienes destacan la importancia de los factores geológicos en la distribución de ciertos elementos disueltos.

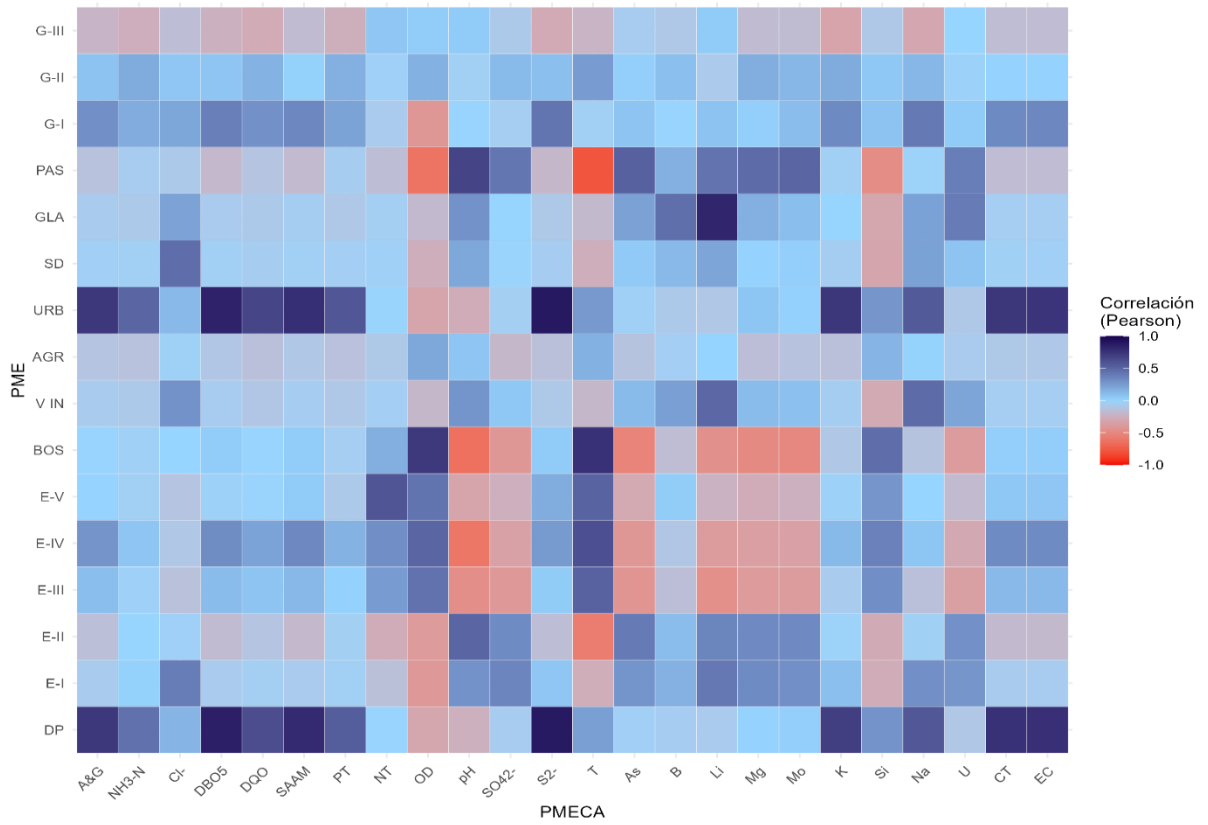


Figura 14. Correlación de la serie 3 de la campaña 2019-II

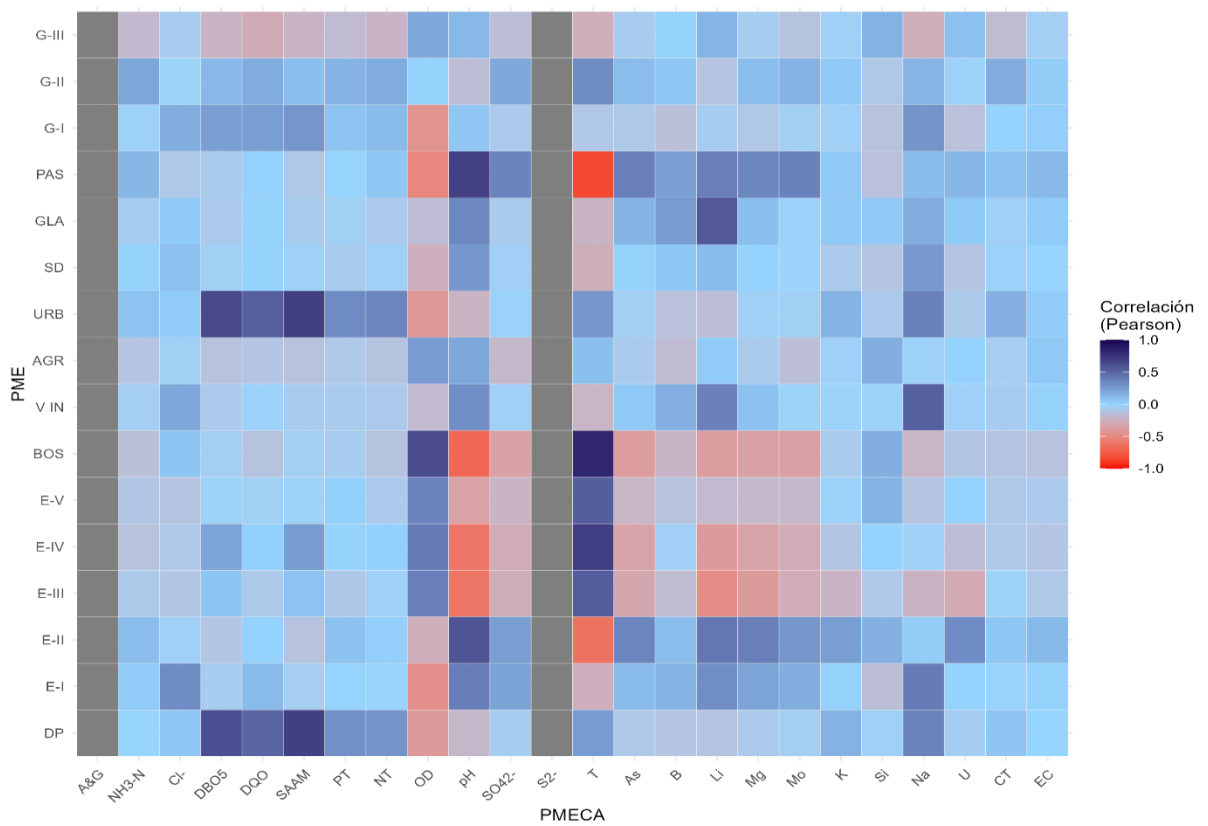


Figura 15. Correlación de la serie 4 de la campaña 2019-IV

En las campañas 2020-II y 2021-I, las mismas que se visualizan en las Figuras 16 y 17, también se mantuvieron correlaciones altas y estadísticamente significativas entre los sub-parámetros de Densidad Poblacional (DP) y Uso del Suelo Urbano con *Escherichia Coli* y Coliformes Termotolerantes, lo que confirma una vez más, la persistencia de una presión antropogénica de origen doméstico sobre la calidad microbiológica del agua. Este comportamiento ha sido ampliamente documentado en estudios de cuencas urbanizadas, donde la ausencia o deficiencia de sistemas de saneamiento incrementa la carga bacteriológica transportada por escorrentía superficial, especialmente durante eventos de lluvia moderada a intensa (Bedim et al., 2020; Malpartida, 2022).

Asimismo, la correlación positiva entre Litio y áreas Glaciares observada en ambas campañas, refuerza la idea de que el control geogénico de este elemento, está asociado a procesos de meteorización natural de litologías específicas y a la liberación de elementos traza en zonas de alta montaña. Resultados similares han sido reportados en estudios geoquímicos de aguas superficiales y subterráneas en regiones con influencia glaciar y mineralización natural, donde el litio actúa como un trazador de origen geológico más que antrópico (Mueller et al., 2007; Gregorini et al., 2025).

Por otro lado, la temperatura del agua mostró correlaciones consistentes con Pastizal y Bosque, lo que evidencia la influencia de la cobertura vegetal sobre el régimen térmico del cuerpo de agua. La literatura señala que los bosques tienden a amortiguar las variaciones térmicas mediante sombreado y regulación microclimática, mientras que los pastizales, al ofrecer menor cobertura arbórea, permiten una mayor exposición a la radiación solar, incrementando la temperatura del agua (Malpartida, 2022; Bedim et al., 2020). Este comportamiento confirma que, incluso en campañas consecutivas, la estructura del paisaje continúa siendo un factor determinante en la dinámica térmica y, por ende, en la calidad del agua.

También es preciso mencionar que, en el año 2020-II, el PMECA de Sulfuro (S2), no presentó diferencia significativa entre sus valores, en comparación con la serie 6, correspondiente a la campaña 2021-I, donde sí hubo diferencia significativa y sus valores más representativos muestran una relación ligera con el PME de G-II, el cual corresponde a Geología, en el sub PME de Aporte geoquímico medio.

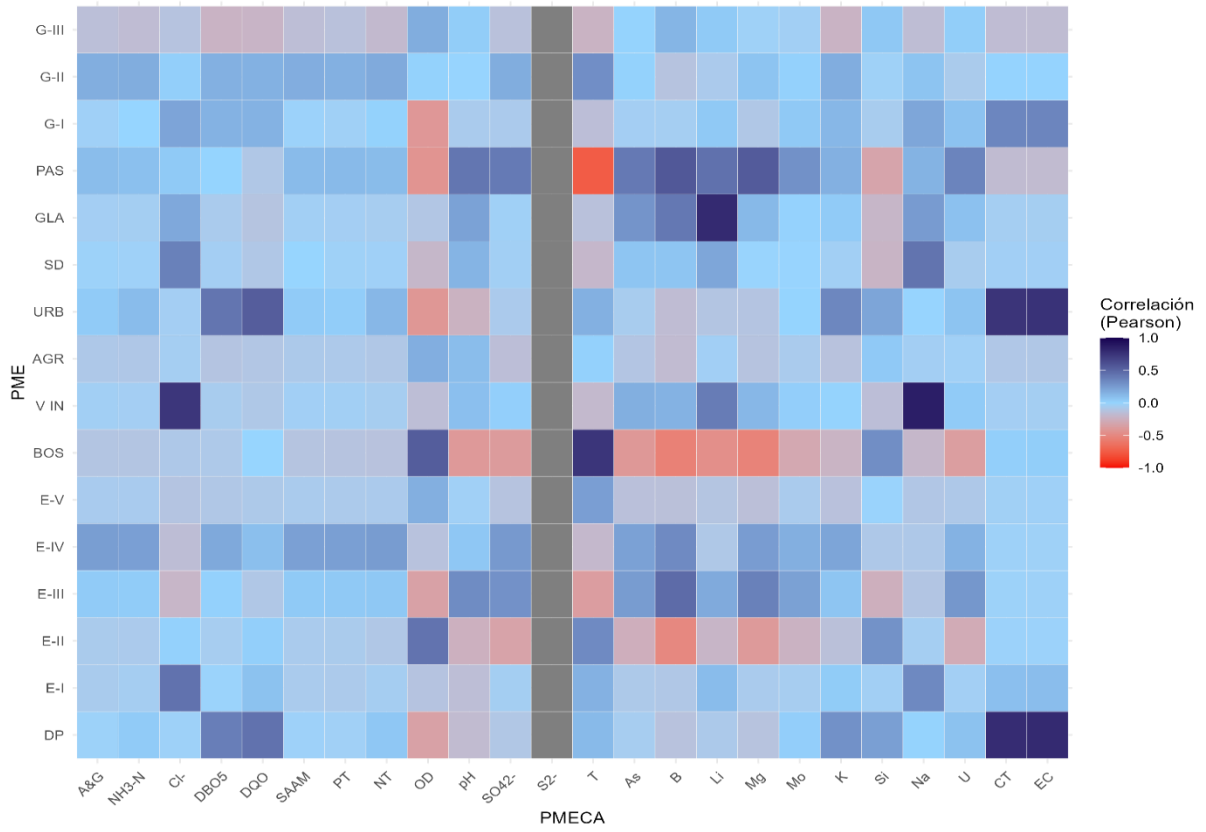


Figura 16. Correlación de la serie 5 de la campaña 2020-II

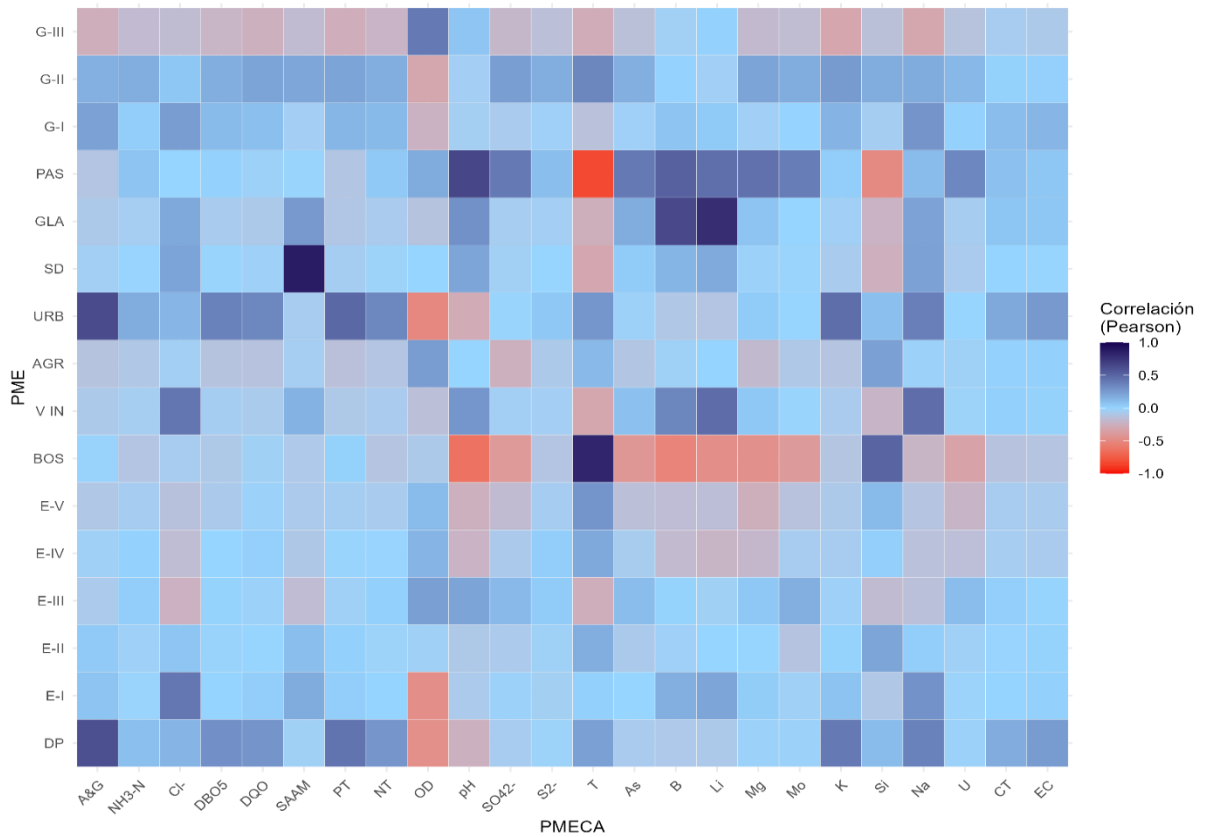


Figura 17. Correlación de la serie 6 de la campaña 2021-I

Durante la temporada de estiaje, el análisis de correlación de Pearson evidenció relaciones altas y muy altas entre los el Sub-Parámetro de Uso del Suelo Urbano y el PME Densidad Poblacional con los PMECA de Aceites y Grasas, DBOs, DQO, Detergentes SAAM, Fósforo Total (PT), Sulfuros (S2) y Potasio (K), lo que refleja un escenario de concentración de contaminantes orgánicos y nutrientes asociado a condiciones de bajo caudal y limitada capacidad de dilución del sistema fluvial, tal como se representa en la Figura 18.

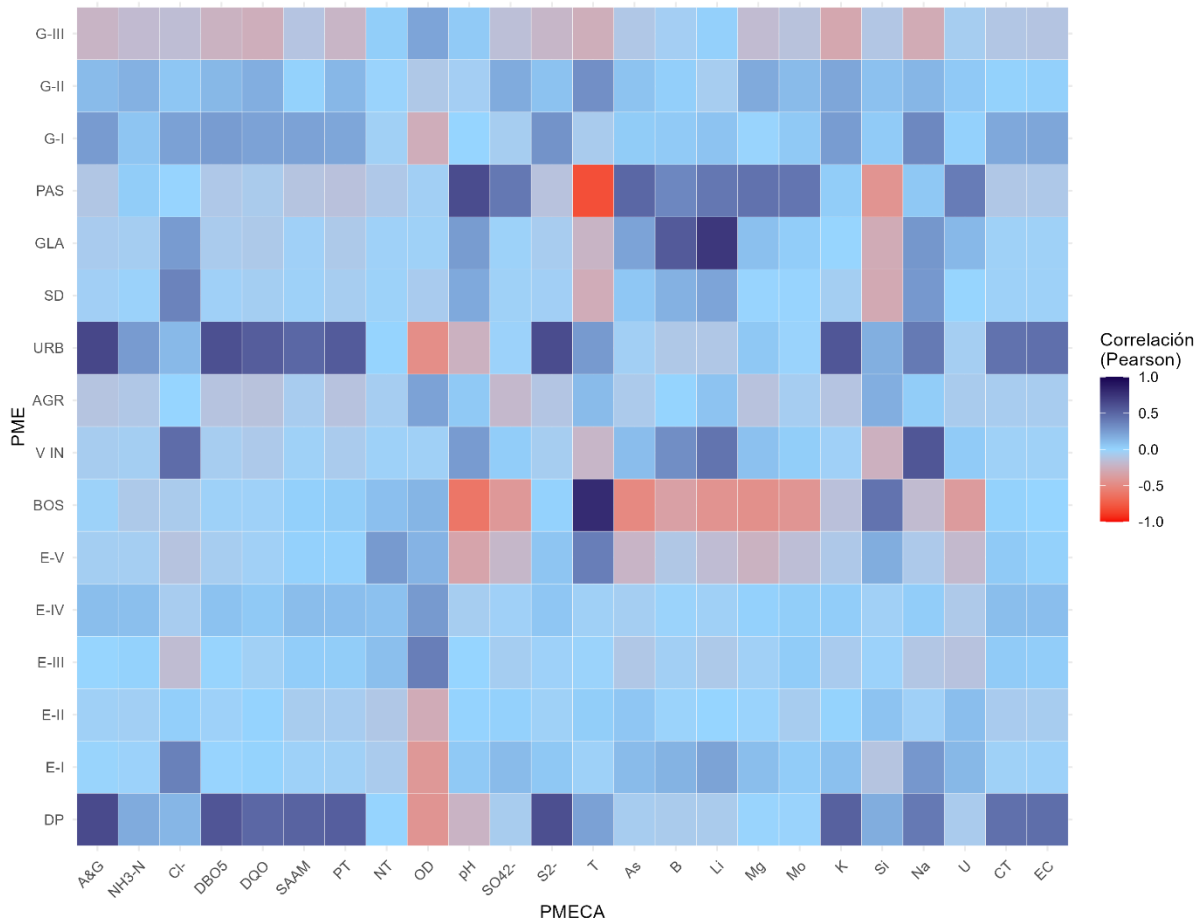


Figura 18. Correlación de la serie 7 de la Temporada de Estiaje

Este comportamiento es característico de periodos de estiaje (Figura 18), en los cuales la reducción del caudal incrementa la permanencia de los contaminantes de origen doméstico-urbano en la columna de agua, intensificando las relaciones estadísticas entre variables antrópicas y parámetros fisicoquímicos. En otros estudios del continente sudamericano, se ha evidenciado que, durante temporadas de estiaje, los indicadores orgánicos y microbiológicos presentan mayores niveles y correlaciones más robustas con el uso del suelo urbano, debido a la disminución del efecto de dilución hidrológica (Bedim et al., 2020; Malpartida, 2022).

Adicionalmente, se identificó una correlación muy alta entre la Temperatura del agua con Bosque y Pastizal, lo que confirma que, en condiciones de estiaje, la cobertura vegetal adquiere un rol más relevante en la regulación térmica del agua. La literatura señala que, en ausencia de perturbaciones hidrológicas intensas, la estructura del paisaje controla el balance energético del sistema acuático, reforzando la señal estadística entre temperatura y tipos de cobertura vegetal (Bostanmaneshrad et al., 2018).

Por otra parte, en la temporada de avenida (serie 8), las correlaciones de Pearson evidenciaron un cambio en el patrón dominante respecto al estiaje (Figura 19), caracterizado por una mayor influencia de los procesos hidrológicos de escorrentía y transporte sobre la calidad del agua. Se identificaron correlaciones altas entre Densidad Poblacional y Uso del Suelo Urbano con *Escherichia Coli* y Coliformes Termotolerantes, lo que indica que los eventos de precipitación incrementan el arrastre superficial de contaminantes microbiológicos desde áreas urbanas hacia la red hídrica.

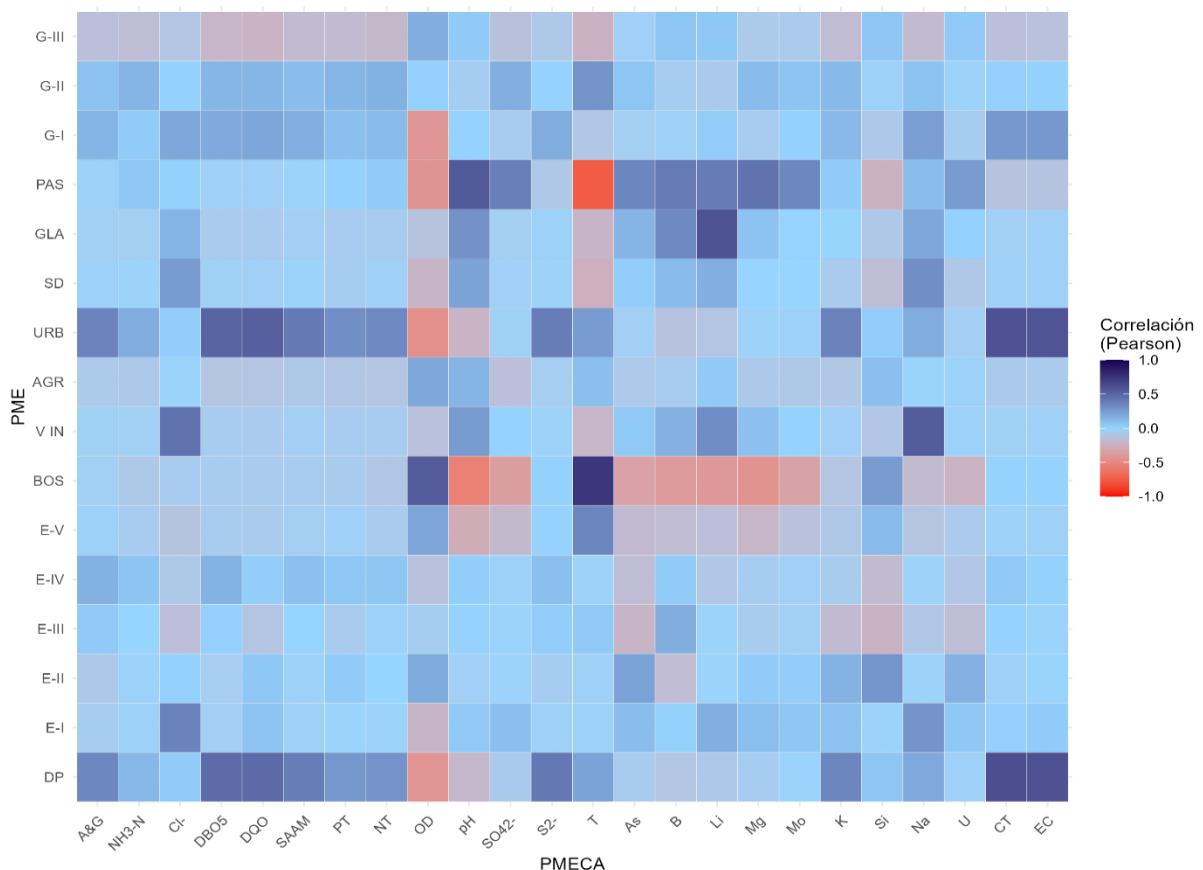


Figura 19. Correlación de la serie 8 de la Temporada de Avenida

En investigaciones hidrológicas, se ha documentado ampliamente este comportamiento, en el que lluvias fuertes y caudal elevado propician la rápida movilización de contaminantes de origen doméstico, sobre todo en cuencas con infraestructura sanitaria

deficiente o sistemas de drenaje urbano incontrolados (Bedim et al., 2020; Malpartida, 2022). De igual manera, se registraron correlaciones elevadas entre la temperatura del agua y los pastizales (PAS), así como entre el oxígeno disuelto (OD) y la cobertura forestal (BOS). Esto indica que, en épocas de lluvias, la cobertura vegetal tiene un impacto mayor en el flujo al regular los procesos de intercambio térmico y de oxigenación, en lugar de hacerlo mediante efectos de concentración. Específicamente, las zonas boscosas tienen niveles de DO más altos debido a una carga térmica menor y a una turbulencia mayor provocada por el aumento del caudal, lo que favorece la reaeración natural del sistema fluvial (Bostanmaneshrad et al., 2018). Por otra parte, la relación inversa entre el pH y los Bosques (negativa) y los pastizales (positiva) evidencia cómo interactúan las fuentes orgánicas naturales, los procesos de dilución y la movilización de suelos superficiales durante las lluvias. Este fenómeno ha sido analizado en investigaciones acerca de la variación espacio-temporal de la calidad del agua en cuencas agrícolas (Godoy et al., 2020).

Finalmente, para la serie 9 “Total”, el análisis de correlación de Pearson permitió identificar las relaciones más estables y persistentes entre los Parámetros de Macro-Escala (PME) y los Parámetros de Calidad del Agua a Micro-Escala (PMECA), independientemente de la estacionalidad hidrológica. En esta integración se evidenciaron correlaciones altas y muy altas que representan controles estructurales del sistema hídrico (Figura 20).

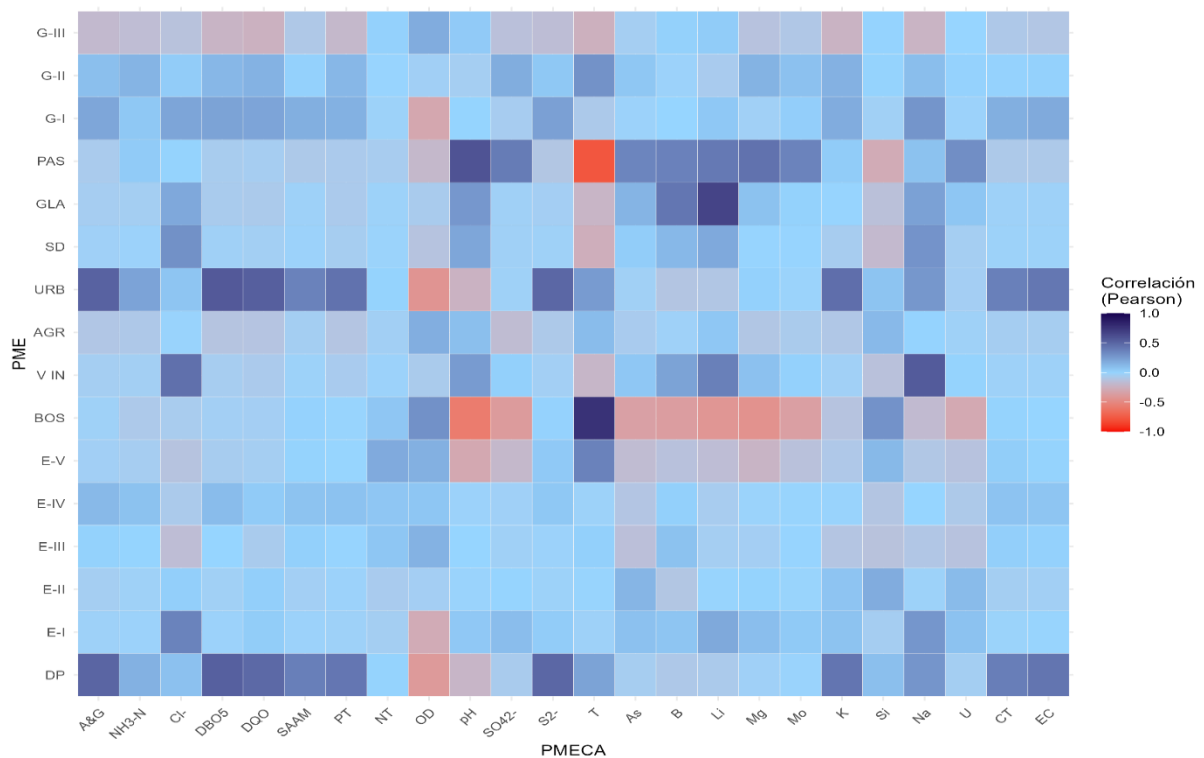


Figura 20. Correlación de la serie 9 de la totalidad de datos

En conjunto, la Serie 9 demostró que la integración de todas las campañas permite distinguir con claridad tres controles dominantes sobre la calidad del agua en la Intercuenca Alto Huallaga: (i) el control estructural de la cobertura vegetal sobre la temperatura y el pH, (ii) la presión urbana persistente sobre los indicadores orgánicos y microbiológicos, y (iii) el control geogénico sobre determinados elementos traza. Estos resultados son coherentes con el enfoque multiescalar planteado en el proyecto PME–PMECA y con la literatura internacional que combina análisis estadísticos multivariados y variables territoriales.

4.1.3. Del Análisis de Conglomerados

El análisis de conglomerados jerárquicos permitió profundizar en la comprensión de las relaciones estructurales entre los Parámetros de Macro-Escala (PME) y los Parámetros de Calidad del Agua a Micro-Escala (PMECA), complementando los resultados obtenidos mediante el AHP y la correlación de Pearson. A diferencia de los enfoques bivariados, el análisis clúster integró múltiples variables simultáneamente, evidenciando patrones consistentes de asociación que reflejan los principales procesos antrópicos y naturales que controlan la calidad del agua en la Intercuenca Alto Huallaga.

De manera general, en todas las series analizadas (2018–2021, estiaje, avenida y total) se observa una asociación reiterada y robusta entre los sub-parámetros URB (Urbano) y DP (Densidad Poblacional) con un conjunto de PMECA relacionados a contaminación orgánica, nutrientes y sales disueltas (DBO₅, DQO, PT, NT, NH₃-N, SAAM, A&G, S²⁻, EC, CT y K). Este patrón, con similitudes superiores al 70–90%, confirma que la presión urbana constituye el eje dominante en la degradación de la calidad del agua, resultado coherente con estudios multivariados aplicados en cuencas de Irán, Brasil y Perú, donde la urbanización explica gran parte de la variabilidad de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos (Bostanmaneshrad et al., 2018; Bedim et al., 2020; Malpartida, 2022). En las Series 1 y 2 (2018-I y 2018-II), la asociación de URB y DP con nutrientes, materia orgánica y sales refleja la influencia combinada de descargas domésticas, escorrentía urbana y limitada infraestructura de saneamiento, procesos que se intensifican tanto en estiaje inicial como en eventos de avenida. Este comportamiento ha sido ampliamente documentado en estudios de calidad de agua superficial, como indicadores sensibles del impacto urbano (Bedim et al., 2020).

De la serie 1: 2018-I, se ha observado la siguiente similitud: URB y DP son muy similares y están agrupados con A&G, PT, S²⁻, K, DBO₅, DQO, EC, NH₃-N, NT y SAAM, por otro lado, BOS con T; SD y GLA, con B y Li. Todas estas agrupaciones representan similitudes mayores a 85%.

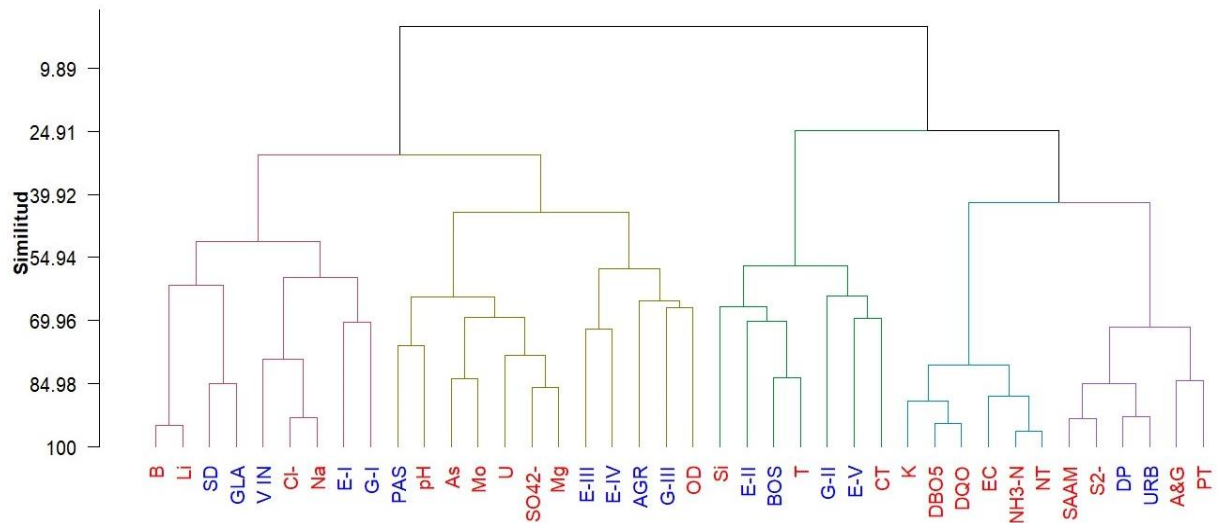


Figura 21. Dendrograma de Análisis Clúster de la Serie 1.

De la serie 2: 2018-II, se ha observado la siguiente similitud: URB y DP son muy similares (75%) y están agrupados con S2-, CT, EC, A&G, NT, PT, K, DQO, NH3-N, y DBO5 están asociados en una similitud de 68%, por otro lado, BOS con T; SD y GLA, con B y Li. Todas estas representan similitudes mayores a 70%.

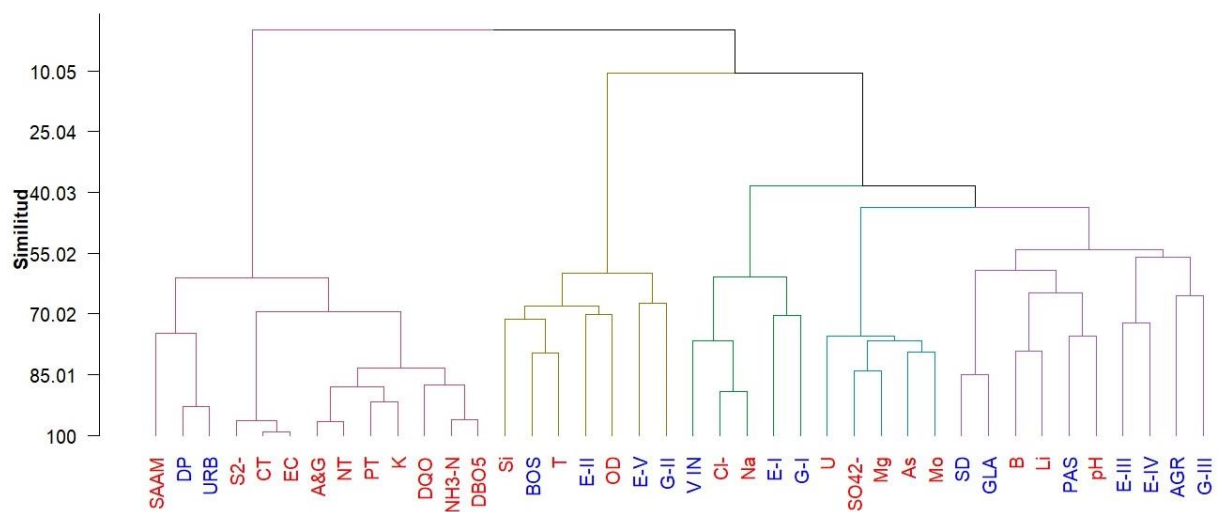


Figura 22. Dendrograma de Análisis Clúster de la Serie 2.

En las Series 3 y 4 (2019-II y 2019-IV), además del clúster urbano dominante, se distingue con claridad un clúster natural-geogénico, donde GLA (Glaciar) se asocia sistemáticamente con Litio (Li), y en algunos casos con Boro (B). Esta agrupación confirma que ciertos elementos trazan responden principalmente a procesos de meteorización natural y control litológico, más que a actividades antrópicas. Este resultado es consistente con estudios geoquímicos en cuencas mineralizadas y de alta montaña, donde el litio se reconoce como un trazador geogénico asociado a la geología y a la dinámica glaciar (Mueller et al., 2007; Gregorini et al., 2025).

De la serie 3: 2019-II, se ha observado la siguiente similitud: URB y DP son muy similares (80%) y están agrupados con S2-, Na, NH3-N, K, DQO, PT, DBO5, A&G, SAAM, CT y EC están asociados en una similitud mayores de 72%, por otro lado, BOS con T y OD; PAS con Ph, GLA y Li. Todas estas representan similitudes mayores a 72%.

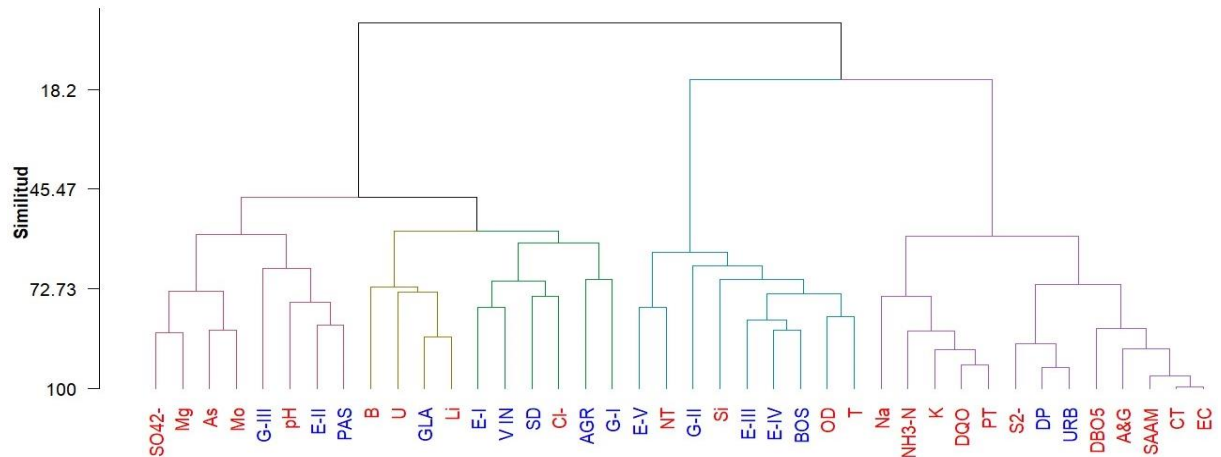


Figura 23. Dendrograma de Análisis Clúster de la Serie 3.

De la serie 4: 2019-IV, se ha observado la siguiente similitud: URB y DP son muy similares (90%) y están agrupados con S2-, Na, NH3-N, K, DQO, PT, DBO5, A&G, SAAM, CT, NT, As, Mg y EC están asociados en una similitud mayores de 70%, por otro lado, BOS con T y OD; PAS con Ph, GLA y Li. Todas estas representan similitudes mayores a 70%.

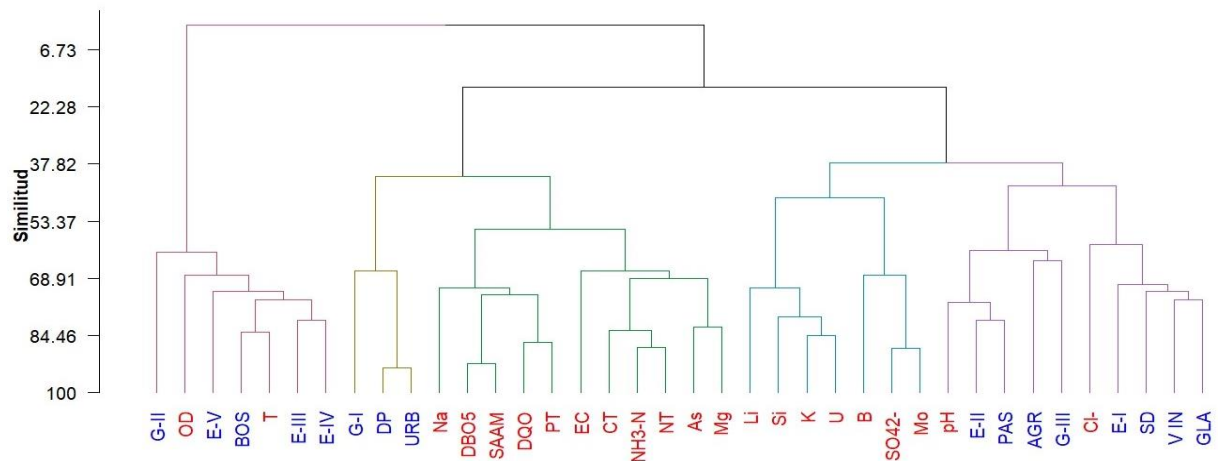


Figura 24. Dendrograma de Análisis Clúster de la Serie 4.

Por otro lado, en varias series (especialmente 2019-II, 2019-IV y 2020-II), se observa la agrupación de BOS (Bosque) con Temperatura (T) y Oxígeno Disuelto (OD), lo que evidencia el rol regulador de la cobertura boscosa sobre el régimen térmico y la oxigenación del agua. La literatura indica que los bosques ribereños reducen la carga térmica, favorecen la reaeración y estabilizan las condiciones fisicoquímicas del sistema acuático, efectos que se expresan claramente en los clústeres obtenidos (Bostanmaneshrad et al., 2018; Malpartida,

2022). En contraste, PAS (Pastizal) se asocia de forma recurrente con pH, diferenciándose del bosque, lo que sugiere una influencia distinta del tipo de cobertura vegetal sobre los procesos biogeoquímicos del agua. Estudios de variación espacio-temporal han señalado que áreas de pastizal, al presentar menor cobertura arbórea y mayor interacción agua-suelo, pueden favorecer cambios en el pH y en la química básica del agua (Bedim Godoy et al., 2020). En la serie 5: 2020-II, se ha observado la siguiente similitud: URB y DP son muy similares (85%) y están agrupados con CT y EC, por otro lado, BOS con T y OD; PAS con Ph, GLA y Li. Todas estas representan similitudes mayores a 75%.

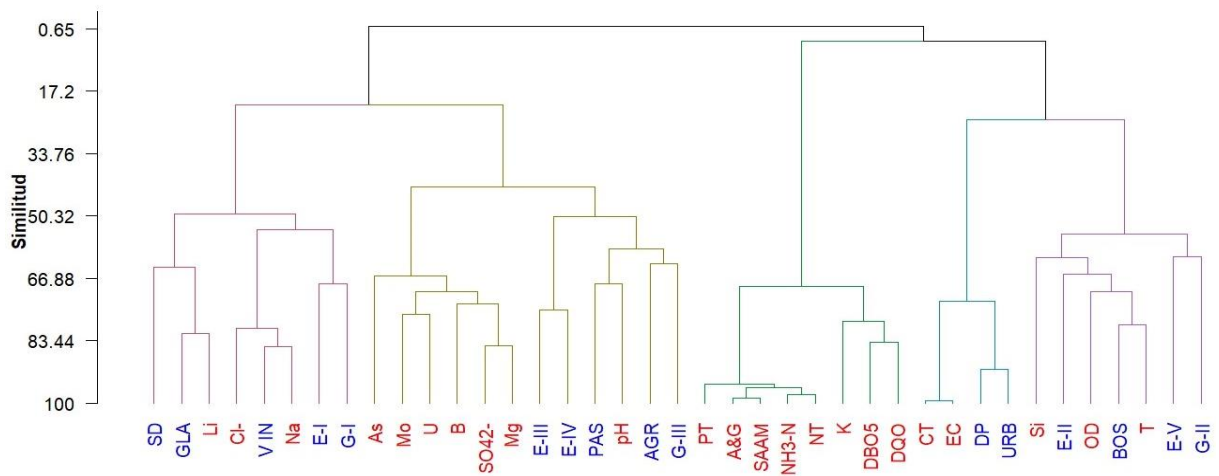


Figura 25. Dendrograma de Análisis Clúster de la Serie 5.

De la serie 6: 2021-I, se ha observado la siguiente similitud: URB y DP son muy similares (85%) y están agrupados con CT y EC, por otro lado, BOS con T; PAS con Ph, GLA con B y Li. Todas estas representan similitudes mayores a 72%; además es preciso mencionar que un grupo de puros PMECA están agrupados sin PME los cuales son: A&G, K, NH3-N, S2-, PT, DQO, DBO5 y NT.

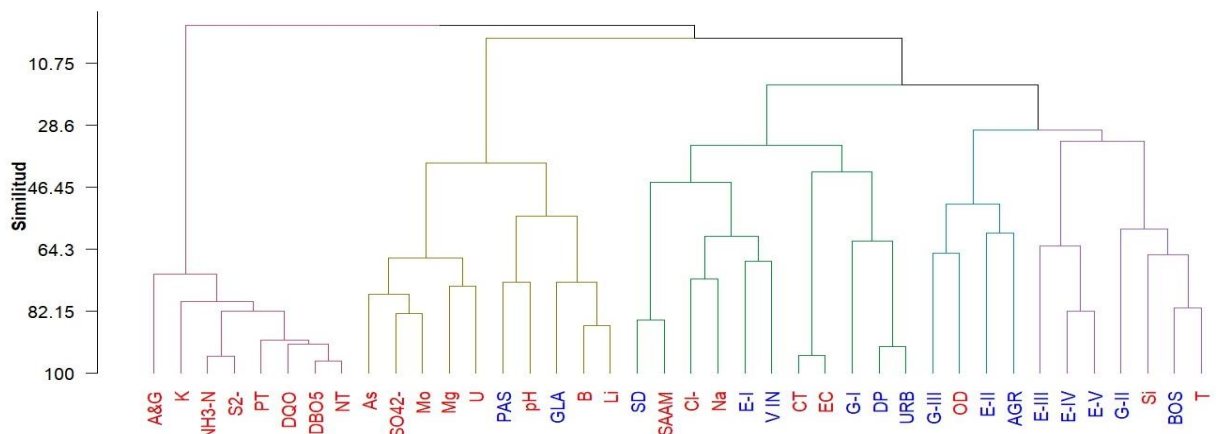


Figura 26. Dendrograma de Análisis Clúster de la Serie 6.

Un aspecto relevante observada en la Serie 6 (2021-I), se muestra en el clúster conformado por PMECA sin asociación directa con PME (A&G, K, NH₃-N, S²⁻, PT, DQO, DBO₅ y NT), el cual sugiere que, bajo condiciones hidrológicas en época de estiaje, los procesos de acumulación, transformación interna y persistencia de contaminantes pueden adquirir mayor peso que el control territorial inmediato, y baja dilución (Malpartida, 2022). En la serie 7: todas las campañas de Estiaje, se ha observado la siguiente similitud: URB y DP son muy similares (85%) y están agrupados con S2- y en una similitud menor con A&G, K, NH₃-N, S2-, PT, DQO, DBO₅, SAAM, CT y EC; por otro lado, BOS con T; PAS con Ph, GLA y SD con B y Li. Todas estas representan similitudes mayores a 70%.

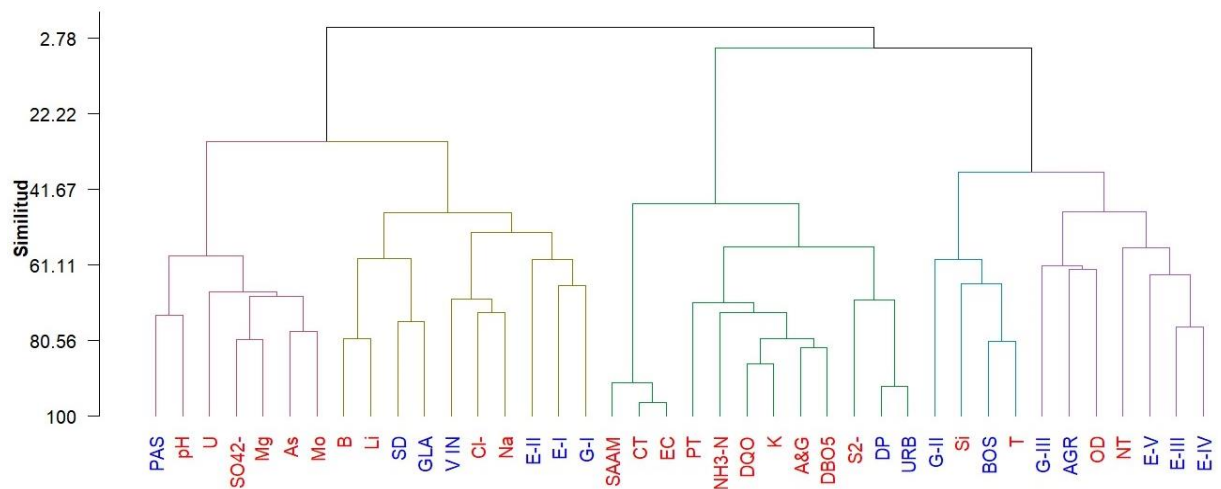


Figura 27. Dendrograma de Análisis Clúster de la Serie 7.

De la serie 8: todas las campañas de Avenida, se ha observado la siguiente similitud: URB y DP son muy similares (85%) y están agrupados con EC y CT y en una similitud menor con A&G, K, NH₃-N, S²⁻, PT, DQO, DBO₅, SAAM y NT; por otro lado, BOS con T; PAS con Ph. Todas estas similitudes representan similitudes mayores a 75%.

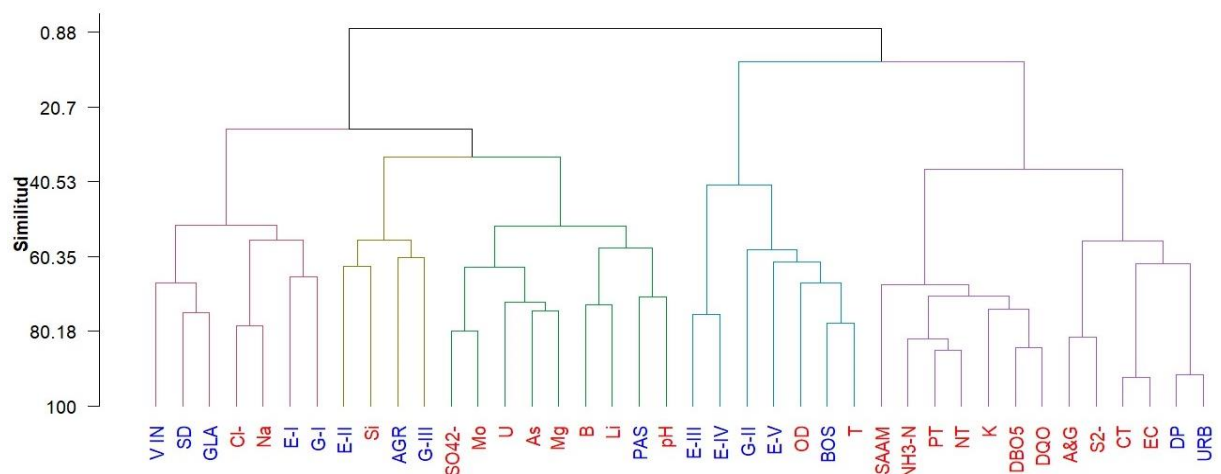


Figura 28. Dendrograma de Análisis Clúster de la Serie 8.

En las Series 7 (Estiaje) y 8 (Avenida), los conglomerados reflejan claramente el efecto de la estacionalidad hidrológica. En estiaje, la fuerte asociación de URB y DP con los PMECA orgánicos por reducción del caudal, mientras que en avenida se mantiene la asociación urbana, pero con mayor peso de EC y CT, evidenciando el rol del transporte y la dilución durante eventos de lluvia el cual coincide con lo descrito en cuencas sudamericanas, donde la estacionalidad controla la expresión estadística de las presiones antrópicas (Bedim et al., 2020).

Finalmente, en la serie 9: todas las campañas de monitoreo, se ha observado la siguiente similitud: URB y DP son muy similares (mayor a 85%) y están agrupados con : EC y CT, SAAM, S2- y en una similitud menor con A&G, K, NH3-N, PT, DQO y DBO5; por otro lado, BOS con T; PAS con Ph. Todas estas similitudes representan similitudes mayores a 71%. En tal sentido, se consolida los resultados anteriores, mostrando tres asociaciones estructurales persistentes:

- URB–DP con PMECA de origen antrópico,
- GLA con elementos traza de origen geogénico (Li, B), y
- BOS y PAS con parámetros físicos y químicos regulados por la cobertura vegetal.

Esta estructura jerárquica integrada ratifica que la calidad del agua en la Intercuenca Alto Huallaga está gobernada por la interacción multiescalar entre urbanización, cobertura del suelo y geología, en concordancia con el marco conceptual del proyecto PME–PMECA y con la evidencia internacional (Bostanmaneshrad et al., 2018; Mueller et al., 2007; Bedim et al., 2020; Gregorini et al., 2025).

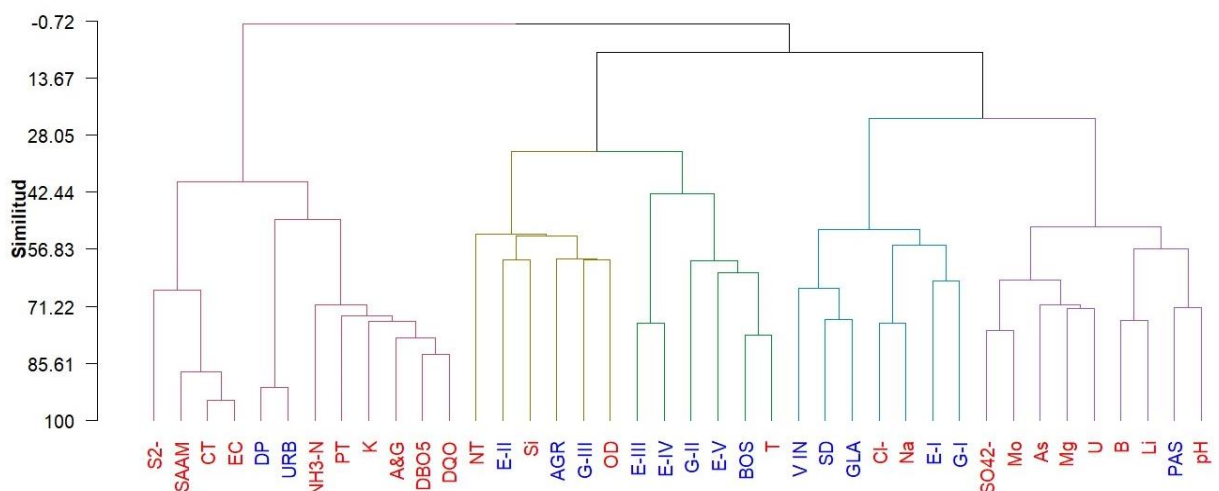


Figura 29. Dendrograma de Análisis Clúster de la Serie 9.

4.1.4. Del Análisis de Discriminante

Se ejecutó el análisis de discriminante lineal (LDA) de tipo Stepwise o Marginal, con la finalidad de identificar los PME con mayor capacidad de discriminación para cada PMECA, empleando la lambda “ λ ” de Wilks como criterio principal, donde a menor lambda de Wilks es mayor la discriminación; se aplicó a las tres series de datos, las cuales fueron: Serie 7 que corresponde a “Estiaje”, Serie 8 “Avenida” y Serie 9 al “Total”. Los resultados detallados y completos se muestran en el apartado E-2 del Anexo E, mientras que las Tablas 33, 34 y 35, resumen únicamente a los PME de mayor capacidad de discriminación, empleando el enfoque de Bostanmaneshrad et al. (2018).

Tabla 33. Parámetros de Macro-Escala (PME) con mayor poder discriminante de la Serie de datos número 7 que corresponde a la temporada de “Estiaje”.

PMECA	PME	λ de Wilks	F	p-valor	N.º clases
T	PAS	0.299	139.477	3.44×10^{-61}	5
pH	PAS	0.548	49.026	4.76×10^{-30}	5
As	BOS	0.608	38.409	8.67×10^{-25}	5
Li	BOS	0.618	49.153	8.83×10^{-25}	4
B	BOS	0.652	42.553	4.53×10^{-22}	4
Mo	BOS	0.668	39.664	7.72×10^{-21}	4
Mg	BOS	0.704	25.044	2.54×10^{-17}	5
U	PAS	0.752	39.499	1.48×10^{-15}	3
EC	URB	0.753	19.478	7.02×10^{-14}	5
SO42-	BOS	0.755	19.267	9.58×10^{-14}	5
Cl-	BOS	0.756	19.186	1.08×10^{-13}	5
CT	URB	0.761	18.736	2.10×10^{-13}	5
Si	PAS	0.775	17.265	1.89×10^{-12}	5
OD	E-III	0.797	15.149	4.77×10^{-11}	5
Na	AGR	0.798	15.085	5.26×10^{-11}	5
NT	BOS	0.801	14.748	8.86×10^{-11}	5
DBO5	URB	0.805	58.529	4.79×10^{-13}	2
NH3-N	URB	0.822	12.889	1.63×10^{-9}	5
K	AGR	0.829	12.280	4.29×10^{-9}	5
DQO	URB	0.846	14.526	1.01×10^{-8}	4
PT	URB	0.854	13.602	3.19×10^{-8}	4
SAAM	URB	0.919	21.238	6.58×10^{-6}	2

Nota. Valores en notación científica ($\times 10^n$) con hasta tres cifras significativas. Se seleccionó el PME con menor λ de Wilks por cada PMECA (LDA marginal; discretización adaptativa 5, 4, 3).

Tabla 34. Parámetros de Macro-Escala (PME) con mayor poder discriminante de la Serie de datos número 8 que corresponde a la temporada de “Avenida”.

PMECA	PME	λ de Wilks	F	p-valor	N.º clases
T	PAS	0.363	104.463	3.15×10^{-51}	5
OD	BOS	0.502	58.938	1.59×10^{-34}	5
B	PAS	0.677	38.088	3.73×10^{-20}	4
pH	PAS	0.688	27.025	1.70×10^{-18}	5
Mo	BOS	0.703	33.719	3.28×10^{-18}	4
As	BOS	0.726	22.457	9.49×10^{-16}	5
Li	PAS	0.732	29.145	4.27×10^{-16}	4
Mg	PAS	0.732	21.735	2.66×10^{-15}	5
Cl-	BOS	0.759	18.867	1.73×10^{-13}	5
Si	PAS	0.770	17.758	9.02×10^{-13}	5
SO42-	BOS	0.785	16.260	8.67×10^{-12}	5
NT	URB	0.789	15.880	1.55×10^{-11}	5
Na	BOS	0.797	15.168	4.63×10^{-11}	5
CT	URB	0.806	14.280	1.83×10^{-10}	5
DQO	E-III	0.816	17.917	1.60×10^{-10}	4
NH3-N	E-IV	0.827	16.685	7.10×10^{-10}	4
EC	URB	0.835	11.733	1.03×10^{-8}	5
DBO5	URB	0.869	36.259	6.40×10^{-9}	2
K	URB	0.908	6.002	1.28×10^{-4}	5
PT	E-II	0.910	5.888	1.56×10^{-4}	5
U	PAS	0.930	9.049	1.63×10^{-4}	3

Nota. Valores en notación científica ($\times 10^n$) con hasta tres cifras significativas. Se seleccionó el PME con menor λ de Wilks por cada PMECA (LDA marginal; discretización adaptativa 5, 4, 3).

Los resultados muestran que los parámetros Urbano (URB), Agrícola (AGR) y Suelo Desnudo (SD) fueron los más recurrentes en los valores mínimos de λ de Wilks, indicando una fuerte asociación entre las actividades humanas y la variabilidad de los indicadores fisicoquímicos del agua.

En particular, el predominio del parámetro URB en los PMECA DQO, DBO₅ y EC sugiere un impacto directo de los efluentes domésticos y del crecimiento urbano sobre la calidad del agua, tal como señalan Gu et al. (2016) y Bostanmaneshrad et al. (2018).

Asimismo, el parámetro AGR destaca en los nutrientes (PT, NT), reflejando la influencia de la escorrentía agrícola y del uso de fertilizantes en la concentración de fósforo y nitrógeno.

Tabla 35. Parámetros de Macro-Escala (PME) con mayor poder discriminante de la Serie de datos número 9 que corresponde al total.

PMECA	PME	λ de Wilks	F	p-valor	N.º clases
T	PAS	0.326	248.748	1.27×10^{-115}	5
pH	PAS	0.603	79.333	1.16×10^{-51}	5
B	PAS	0.669	79.398	9.43×10^{-42}	4
Li	PAS	0.671	78.684	1.93×10^{-41}	4
OD	BOS	0.672	58.681	2.47×10^{-40}	5
Mo	BOS	0.679	75.782	3.60×10^{-40}	4
As	BOS	0.682	55.985	9.21×10^{-39}	5
Mg	PAS	0.724	45.927	1.10×10^{-32}	5
Cl-	BOS	0.767	36.609	9.93×10^{-27}	5
SO42-	BOS	0.767	36.454	1.26×10^{-26}	5
CT	URB	0.772	35.556	4.91×10^{-26}	5
Si	PAS	0.775	34.992	1.16×10^{-25}	5
EC	URB	0.798	30.527	1.17×10^{-22}	5
DBO5	URB	0.804	117.845	1.02×10^{-24}	2
Na	BOS	0.807	28.729	1.99×10^{-21}	5
NT	URB	0.808	28.502	2.86×10^{-21}	5
DQO	URB	0.816	36.121	4.51×10^{-21}	4
U	PAS	0.841	45.673	6.80×10^{-19}	3
NH3-N	URB	0.848	28.832	3.68×10^{-17}	4
K	URB	0.878	16.637	8.83×10^{-13}	5
PT	URB	0.916	14.658	3.77×10^{-9}	4

Nota. Valores en notación científica ($\times 10^n$) con hasta tres cifras significativas. Se seleccionó el PME con menor λ de Wilks por cada PMECA (LDA marginal; discretización adaptativa 5, 4, 3).

4.1.5. Proyección final

En esta parte, se seleccionaron los PME que influyen en los PMECA en al menos dos de los tres métodos estadísticos previos, tal como se realizó en la investigación de Bostanmaneshrad et al. (2018), pero que en dicha investigación, en el análisis de la correlación de Pearson, solo se tomó en cuenta el grado de significancia (< 0.05), mas no el nivel de correlación Rho de Pearson; por lo que, a fin de mejorar la exigencia del análisis, en la presente investigación se emplearon también los PMECA que guardaron correlación $\geq |\pm 0.5|$ con los

PME; ya que según Hernández et al. (2014), es considerada una correlación Alta. En tal sentido estos resultados para las tres últimas series de datos que son: Serie 7 “Estiaje”, Serie 8 “Avenida” y Serie 9 “Total”, se muestran en las Tablas 36, 37 y 38, respectivamente resaltados con el símbolo (*) en la parte superior.

Tabla 36. Parámetros de Macro-Escala (PME) y los PMECA de la temporada de “Estiaje”.

PME	PMECA
AGR	Mg, OD, SO _{4_2} , Si
BOS	As*, B, Cl, K, Li, Mg, Mo, Na, OD, SO _{4_2} , Si, T*, U, pH*
DP	A_G*, CT, Cl, DBO ₅ *, DQO*, EC, K*, NH _{3_N} , Na, OD, PT*, SAAM*, S ₂ *, Si, T, pH
E-I	Cl, Li, Na, OD
E-II	OD
E-III	Cl, OD
E-IV	OD
E-V	As, Li, Mg, Mo, NT, OD, SO _{4_2} , Si, T, U, pH
G-I	A_G, CT, Cl, DBO ₅ , DQO, EC, K, NH _{3_N} , Na, OD, PT, SAAM, S ₂
G-II	Mg, Na, PT, SO _{4_2} , T
G-III	Cl, DBO ₅ , DQO, K, Mg, NH _{3_N} , Na, PT, T
GLA	As, B*, Cl, Li*, Mg, Mo, Na, SO _{4_2} , Si, T, U, pH
PAS	As*, B, Cl, Li, Mg, Mo, Na, PT, SO _{4_2} , Si, T*, U, pH*
SD	As, B, Cl, Li, Mo, Na, SO _{4_2} , Si, T, pH
URB	A_G*, CT, DBO ₅ *, DQO*, EC, K*, NH _{3_N} , Na, OD, PT*, SAAM*, S ₂ *, Si, T, pH
V IN	As, B, Cl, Li, Mg, Mo, Na*, SO _{4_2} , Si, T, pH

* Es el PMECA que se relaciona al PME en un nivel de correlación de Pearson $\geq |\pm 0.5|$, Fuente: Elaboración Propia.

Durante la temporada de estiaje, los resultados evidencian que los PME URB (Uso del Suelo Urbano) y DP (Densidad Poblacional) influyen sobre un conjunto prácticamente idéntico de PMECA con correlaciones altas, tales como Aceites y Grasas (A_G), DBO₅, DQO, Fósforo Total (PT), Detergentes SAAM, Sulfuros (S₂⁻) y *Escherichia Coli* (EC). Esta coincidencia confirma que, en condiciones de bajo caudal, la presión urbana y poblacional actúa de manera conjunta, potenciando la acumulación de contaminantes orgánicos y nutrientes por la limitada capacidad de dilución del sistema fluvial, donde los periodos secos intensifican la señal estadística de los aportes domésticos y residuales sobre la calidad del agua (Malpartida, 2022; Bedim et al., 2020). Asimismo, refuerza lo observado en el análisis clúster, donde URB y DP se agruparon sistemáticamente con los mismos PMECA, evidenciando su rol estructural dominante.

En contraste, los PME asociados a cobertura vegetal (BOS y PAS) se vinculan principalmente con Temperatura (T) y pH, lo que confirma que, durante el estiaje, la vegetación controla el régimen térmico y las condiciones ácido-base del agua más que los parámetros orgánicos, resultado coherente con lo reportado por Bostanmaneshrad et al. (2018).

Tabla 37. Parámetros de Macro-Escala (PME) y los PMECA de la temporada de “Avenida”.

PME	PMECA
AGR	OD, SO _{4_2} , pH
BOS	As, B, Li, Mg, Mo, Na, OD ¹ , SO _{4_2} , Si, T*, U, pH*
DP	A_G, CT*, DBO ₅ , DQO, EC*, K, NH _{3_N} , NT, Na, OD, PT, SAAM, T, pH
E-I	Cl, Na, OD
E-II	As, B, K, OD, Si, U
E-III	As, B, K, Si, U
E-IV	OD, Si
E-V	As, B, Cl, Li, Mg, Mo, OD, SO _{4_2} , Si, T, pH
G-I	A_G, CT, Cl, DBO ₅ , DQO, EC, NH _{3_N} , NT, Na, OD, SAAM
G-II	DQO, NT, SO _{4_2} , T
G-III	CT, DQO, NH _{3_N} , NT, OD, T
GLA	As, B, Cl, Li*, Na, OD, T, pH
PAS	As, B, CT, Li, Mg, Mo, OD, SO _{4_2} , Si, T*, U, pH*
SD	Cl, Na, OD, Si, T, pH
URB	A_G, B, CT*, DBO ₅ *, DQO*, EC*, K, NH _{3_N} , NT, Na, OD, PT, SAAM, T, pH
V IN	B, Cl, Li, Na*, T, pH

* Es el PMECA que se relaciona al PME en un nivel de correlación de Pearson $\geq |\pm 0.5|$, Fuente: Elaboración Propia.

En la temporada de avenida (serie 8), aunque se mantiene la influencia de URB y DP sobre parámetros orgánicos y microbiológicos, la proyección final muestra una reducción en el número de PMECA con correlaciones altas, reflejando el efecto de la dilución hidrológica y del transporte rápido durante eventos de precipitación. En este contexto, los PME urbanos influyen principalmente sobre Coliformes Totales (CT), *Escherichia Coli* (EC), DBO₅ y DQO, lo que indica que, si bien la carga contaminante se dispersa espacialmente, los indicadores microbiológicos y de mineralización continúan respondiendo a la presión urbana. Este comportamiento ha sido descrito en estudios de variación espacio-temporal, donde la avenida atenúa concentraciones, pero mantiene asociaciones funcionales con el uso del suelo urbano (Bedim et al., 2020).

Por su parte, GLA (Glaciar) continúa mostrando asociación con Litio (Li) y otros elementos traza, confirmando que los procesos geogénicos conservan su influencia incluso en condiciones hidrológicas cambiantes. Esta persistencia refuerza el carácter natural de estos elementos, tal como se documenta en estudios geoquímicos de cuencas mineralizadas y de alta montaña (Mueller et al., 2007; Gregorini et al., 2025).

Tabla 38. Parámetros de Macro-Escala (PME) y los PMECA del “Total” de campañas.

PME	PMECA
AGR	DQO, K, Mg, OD, SO _{4_2} , Si, T, pH
BOS	As, B, Cl, K, Li, Mg, Mo, Na, OD, SO _{4_2} , Si, T*, U, pH*
DP	A_G ¹ , CT, DBO ₅ *, DQO, EC, K, NH _{3_N} , Na, OD, PT, SAAM, S_2*, Si, T, pH
E-I	Cl, Li, Mg, Na, OD, SO _{4_2}
E-II	As, Si, U
E-III	As, Cl, K, OD, U
E-IV	DBO ₅
E-V	As, B, Cl, K, Li, Mg, Mo, NT, Na, OD, SO _{4_2} , Si, T, U, pH
G-I	A_G, CT, Cl, DBO ₅ , DQO, EC, K, NH _{3_N} , Na, OD, PT, SAAM, S_2
G-II	K, Mg, NH _{3_N} , Na, PT, SO _{4_2} , T
G-III	CT, Cl, DBO ₅ , DQO, EC, K, Mg, NH _{3_N} , Na, OD, PT, SO _{4_2} , T
GLA	As, B, Cl, Li*, Mg, Mo, Na, SO _{4_2} , Si, T, pH
PAS	As, B, Cl, Li, Mg, Mo, Na, OD, SO _{4_2} , Si, T*, U, pH*
SD	As, B, Cl, Li, Mg, Mo, Na, OD, SO _{4_2} , Si, T, pH
URB	A_G*, B, CT, DBO ₅ *, DQO*, EC, K, Li, NH _{3_N} , Na, OD, PT, SAAM, S_2*, T, pH
V IN	As, B, Cl, Li, Mg, Mo, Na*, SO _{4_2} , Si, T, pH

* Es el PMECA que se relaciona al PME en un nivel de correlación de Pearson $\geq |\pm 0.5|$, Fuente: Elaboración Propia.

La proyección correspondiente al Total de campañas (serie 9), consolida las relaciones más estables del sistema, identificando a URB, DP, BOS, PAS y GLA como los PME con influencia persistente sobre los PMECA. En particular, URB mantiene correlaciones altas con “A_G” (Aceites y Grasas), DBO₅, DQO y “S₂” (Sulfuros), lo que confirma que los aportes urbanos constituyen una fuente crónica de presión sobre la calidad del agua, independientemente de la estacionalidad; aunque en menor magnitud (menor influencia de los PME sobre los PMECA), se encuentra DP y URB con: EC (*Escherichia Coli*), CT (Coliformes Termotolerantes), “NH_{3_N}” (Nitrógeno Amoniacal), “SAAM” (Sustancias Activas al Azul de Metileno-Detergentes), OD, Ph, Fosforo Total; todos ellos asociados a actividades antropogénicas. Asimismo, la asociación reiterada de BOS y PAS con Temperatura y pH, y de GLA con Litio, evidencia que la estructura del paisaje y la geología actúan como controles de fondo del sistema hídrico. Este resultado es coherente con el marco conceptual del proyecto PME–PMECA, donde los factores naturales y antrópicos interactúan a diferentes escalas espaciales y temporales (Bostanmaneshrad et al., 2018).

4.2. Evaluación de la influencia de la distancia de Recorrido Hidrológico en la relación entre los PME y los PMECA

4.2.1. Distancias y ponderación de los PME

Para el análisis espacial correspondiente, se generaron los tres tipos de distancias geométricas e hidrológicas requeridas para la ponderación de los Parámetros Macro-Escala (PME). En primer lugar, se obtuvieron las distancias Radial y Paralela mediante la herramienta Euclidean Distance en un entorno SIG. La construcción de la Distancia Radial se realizó empleando la ubicación de los puntos de monitoreo de calidad del agua, previamente ajustadas a la red de drenaje derivada del DEM acondicionado; mientras que la Distancia Paralela se generó a partir de la red hidrológica principal y secundaria, permitiendo estimar la proximidad lateral a los cauces.

En segundo lugar, se obtuvo la Distancia Hidrológica o Acumulada, la cual fue calculada siguiendo el flujo natural del agua dentro de la red de drenaje y considerando la conectividad hidrológica derivada del modelo hidrológicamente corregido en el ArcGis Pro. Esta distancia incorpora estrictamente la dirección del flujo y la estructura jerárquica del drenaje, lo que permitió representar de manera más realista la influencia de los procesos de transporte y acumulación de carga contaminante a nivel de la ICAH.

La Figura 30 presenta los tres tipos de distancia generados en la presente investigación: A) Distancia Radial, B) Distancia Paralela y C) Distancia Hidrológica, los cuales constituyeron los insumos espaciales utilizados para ponderar los valores de los PME, tal como se empleó en la investigación desarrollada por Bostanmaneshrad et al. (2018) en Irán, marcando un hito importante para el uso de información de variables geoespaciales para determinar los parámetros de calidad del agua a microescala.

Una vez obtenidos los mapas de distancia, se procedió a unir las ponderaciones correspondientes con los valores de los Parámetros Macro-Escala (UAT, DP, EH y GEO) en cada una de las 81 Subunidades Hidrográficas (S_UH) del área de estudio. Los resultados consolidados de manera total se presentan en las Tablas 57, 58 y 59 del Anexo E-5, para las distancias radial, paralela e hidrológica, respectivamente.

En dichas tablas es posible identificar las diferencias en la influencia espacial de cada PME, así como la ponderación relativa de los factores más significativos en cada subcuenca, estas tablas fueron usados como datos para el desarrollo del modelo predictivo en el siguiente objetivo de la presente investigación.

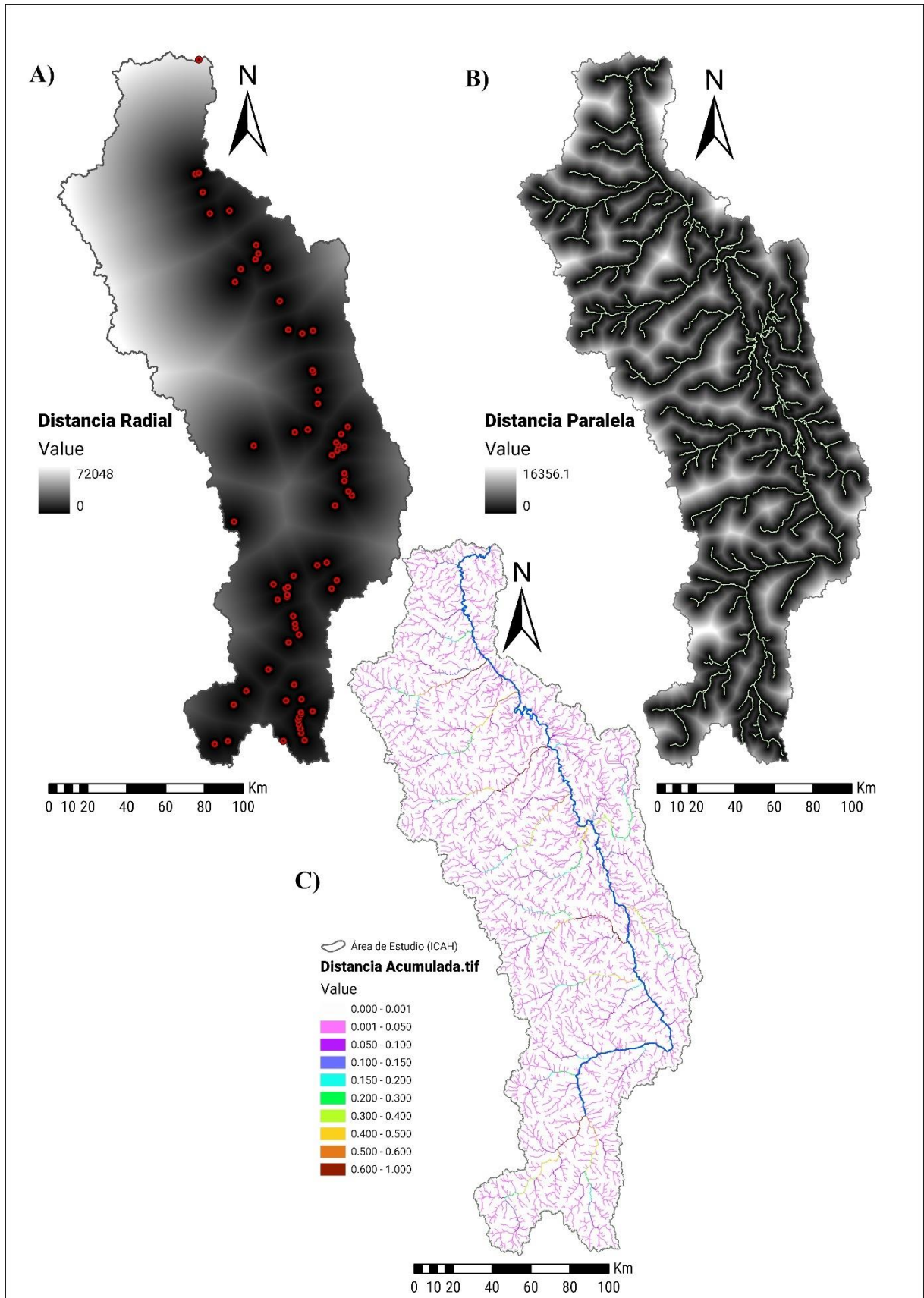


Figura 30. Distancias en la Intercuenca Alto Huallaga: A) distancia radial, B) distancia paralela y C) distancia hidrológica.

Por otra parte, se determinó el Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos (ICARHS), aplicando la metodología señalada en el ítem 3.3.6.6. como parte del análisis de datos de los PMECA, para las 6 campañas de monitoreo de calidad del agua; donde finalmente fueron promediadas para obtener el resultado de la Tabla 39. Con los datos de los Parámetros de Macro-Escala que fueron ponderados para cada tipo de distancia: Radial, Paralela e Hidrológica, se analizó los resultados de las Tablas 40, 41 y 42; donde se puede evidenciar que las S-UH 58, 59 y 60 correspondientes a las quebradas : Cushuro, El Águila y Cocheros presentan ICARHS con un nivel “Pésimo”, así mismo con mayor ponderación de Densidad Poblacional en las tres diferentes distancias; además, Liyanage y Yamada (2017), mencionan que la densidad poblacional es un factor muy importante, cuando se analiza la calidad del agua; ya que existe una correlación entre la variable densidad poblacional y los parámetros de calidad del agua, tales como: OD, DBO y Coliformes Totales (TC).

Tabla 39. Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos (ICARHS) promedio.

S-UH	Punto	Cuerpo de Agua	Coordenadas UTM		Categoría	ICARHS
			Este	Norte		
1	RHual27	Río Huallaga	318197	9172659	C3-D1	Bueno
2	RHual26	Río Huallaga	318256	9114316	C3-D1	Bueno
3	RHual25	Río Huallaga	333868	9094914	C3-D1	Regular
4	RHual24	Río Huallaga	347593	9077228	C3-D1	Bueno
5	RHual23	Río Huallaga	348921	9072863	C3-D1	Excelente
6	RHual22	Río Huallaga	353779	9065621	C3-D1	Bueno
7	RHual21	Río Huallaga	360215	9048655	C3-D1	Bueno
8	RHual20	Río Huallaga	364354	9033875	C3-D1	Bueno
9	RHual19	Río Huallaga	380015	9002651	C3-D1	Bueno
10	RHual18	Río Huallaga	390103	8974251	C3-D1	Regular
11	RHual17	Río Huallaga	389447	8971679	C3-D1	Bueno
12	RHual16	Río Huallaga	393159	8959917	C4-E2	Excelente
13	RHual15	Río Huallaga	395255	8950625	C3-D1	Excelente
14	RHual14	Río Huallaga	384109	8914086	C3-D1	Regular
15	RHual13	Río Huallaga	379125	8912553	C3-D1	Regular
16	RHual12	Río Huallaga	367093	8907020	C3-D1	Pésimo
17	RHual11	Río Huallaga	364061	8901392	C3-D1	Pésimo
18	RHual10	Río Huallaga	362973	8900714	C3-D1	Malo
19	RHual9	Río Huallaga	363585	8896395	C3-D1	Malo
20	RHual8	Río Huallaga	366866	8886415	C3-D1	Pésimo
21	RHual7	Río Huallaga	367820	8882470	C3-D1	Regular
22	RHual6	Río Huallaga	369913	8876992	C3-D1	Bueno
23	RHual5	Río Huallaga	370959	8843646	C3-D1	Bueno
24	RHual4	Río Huallaga	370755	8836925	C3-D1	Bueno
25	RHuer2	Río Huertas	368025	8880471	C3-D1	Excelente
26	RHuer1	Río Huertas	364462	8872979	C3-D1	Excelente
27	RHual3	Río Huallaga	370966	8836230	C3-D1	Bueno

28	RHual43	Río Huallaga	369809	8834456	C3-D1	Bueno
29	RMonz2	Río Monzón	386947	8968992	C3-D1	Bueno
30	RHual42	Río Huallaga	369474	8832777	C3-D1	Excelente
31	RChau2	Río Chaupihuaranga	354003	8859057	C3-D1	Bueno
32	RHual2	Río Huallaga	369690	8830701	C3-D1	Bueno
33	RChon3	Río Uchiza	347897	9070401	C3-D1	Bueno
34	RSupt2	Río Supte	391415	8980115	C3-D1	Regular
35	RTing2	Río Tingo	367288	8851327	C3-D1	Bueno
36	RHual1	Río Huallaga	370546	8828639	C3-D1	Excelente
37	RChau1	Río Chaupihuaranga	336245	8840946	C3-D1	Bueno
38	RChon2	Río Uchiza	339283	9065039	C3-D1	Excelente
39	RChin2(*)	Río Chinchao	397040	8948378	C3-D1	Regular
40	RHigu2	Río Higueras	363059	8900844	C3-D1	Pésimo
41	RLGor2	Río Lomas Gordas	389250	8904910	C3-D1	Pésimo
42	RHuan2	Río Huancachupa	363856	8897294	C3-D1	Malo
43	RChin2	Río Chinchán	371112	8843722	C3-D1	Excelente
44	RColo1	Río Colorado	333261	8822241	C4-E2	Bueno
45	RMish1	Río Mishollo	316511	9114051	C3-D1	Excelente
46	RChal1	Río Challuayacu	320352	9104497	C3-D1	Excelente
47	RToca1	Río Tocache	323958	9093482	C3-D1	Excelente
48	RChon1	Río Uchiza	336787	9058296	C3-D1	Excelente
49	RAspu1	Río Aspuzana	371529	9031824	C3-D1	Bueno
50	RPuca1	Río Pucayacu	377009	9033298	C3-D1	Bueno
51	RAuca1	Río Aucayacu	376642	9012877	C3-D1	Malo
52	RSang1	Río Sangapilla	377204	9011840	C3-D1	Bueno
53	RCuch1	Río Cuchara	379528	8995735	C3-D1	Excelente
54	RTulu1	Río Tulumayo	394946	8983816	C3-D1	Excelente
55	QAuri1	Quebrada Auri	388939	8975780	C3-D1	Regular
56	QAnyp1	Quebrada Anypante	393232	8973660	C3-D1	Pésimo
57	RSupt1	Río Supte	392604	8972888	C3-D1	Pésimo
58	QCush1	Quebrada Cushuro	390353	8973220	C3-D1	Pésimo
59	QEAgul	Quebrada El Águila	389643	8971758	C3-D1	Pésimo
60	QCoCh1	Quebrada Cocheros	389444	8971436	C3-D1	Pésimo
61	RSach1	Río Sachavaca	374418	8982408	C3-D1	Bueno
62	RCach1	Río Cachicoto	367602	8981042	C3-D1	Bueno
63	RMonz1	Río Monzón	346526	8974125	C3-D1	Bueno
64	RBell1	Río Bella	386738	8969298	C3-D1	Regular
65	QTmay1	Quebrada Tres de mayo	393480	8958570	C3-D1	Excelente
66	RTamb1	Río Tambillo	393286	8959709	C4-E2	Bueno
67	QSJpa1	Quebrada San José de las Palmas	393116	8956024	C3-D1	Regular
68	RChin1(*)	Río Chinchao	388325	8943359	C3-D1	Excelente
69	RJara1	Río Jarahuasi	336470	8935006	C3-D1	Excelente
70	RHigu1	Río Higueras	356617	8902865	C3-D1	Bueno
71	RLGor1	Río Lomas Gordas	386594	8900531	C3-D1	Regular
72	RHuan1	Río Huancachupa	358817	8894960	C3-D1	Excelente
73	RTahu1	Río Tahuarmayo	354419	8859177	C3-D1	Excelente
74	RUshu1	Río Ushugoya	342690	8848044	C3-D1	Excelente

75	RCond1	Río Condorgaga	363159	8843015	C3-D1	Excelente
76	RTic11	Río Tíclacayan	370960	8836285	C3-D1	Excelente
77	RLloc4	Río Lloclla	370933	8826276	C3-D1	Bueno
78	RChin1	Río Chinchán	376827	8837598	C3-D1	Excelente
79	RTing1	Río Tingo	361750	8822341	C3-D1	Pésimo
80	RPari1	Río Paríamarca	372670	8822657	C3-D1	Excelente
81	LRara1	Laguna Raracocha	326471	8820677	C4-E1	Regular

Por otra parte, las S-UHs, que tienen ICARHS “Excelente” (*), presentan menores valores ponderados por efecto de distancia (hidrológica, radial y paralela) para los PME de Densidad Poblacional y Uso del Suelo (Urbano), tal como evidenciaron Cheng et al. (2022), por lo que a mayor densidad Poblacional menor Calidad del Agua. Además, se evidenció que, en la ICAH se carecen de adecuados servicios de tratamientos de aguas residuales y manejo de residuos sólidos, sobre todo en ciudades colindantes al río Huallaga.

Tabla 40. PME Ponderado por cada S-UH para Distancia Radial

S-UH	1/r					1/ln(r)				
	UAT	DP	EH	GEO	SUMA	UAT	DP	EH	GEO	SUMA
54*	87.58	81.71	188.93	251.18	609.40	116 374.71	111 169.73	262 933.00	345 782.83	836 260.27
57	10.67	5.22	11.78	15.43	43.10	1 623.73	1 294.34	3 170.50	3 839.41	9 927.98
58	19.19	21.51	8.84	5.58	55.11	1 722.19	2 152.82	954.67	695.08	5 524.76
59	7.34	8.85	3.89	3.19	23.27	592.77	1 070.58	493.85	512.32	2 669.52
60	11.69	17.62	7.25	6.33	42.90	2 077.28	4 159.50	1 814.56	1 837.12	9 888.45
65*	14.92	15.42	36.16	69.26	135.75	6 651.53	6 676.07	15 921.79	31 566.19	60 815.58
69*	17.34	9.37	20.59	25.67	72.97	4 129.28	2 159.59	4 968.81	7 250.15	18 507.84
78*	30.92	15.45	43.28	69.59	159.23	12 351.38	6 159.89	16 752.84	25 481.42	60 745.53
79	7.32	3.64	9.18	12.84	32.98	658.60	326.14	821.99	1 215.14	3 021.87
80*	65.04	30.81	69.79	147.17	312.80	38 028.87	18 875.07	41 599.68	86 768.78	185 272.41

*: Sub Unidad Hidrográfica (S-UH) que presenta ICARHS con nivel “Excelente”.

Tabla 41. PME Ponderado por cada S-UH para Distancia Paralela

S-UH	1/r					1/ln(r)				
	UAT	DP	EH	GEO	SUMA	UAT	DP	EH	GEO	SUMA
54*	1 091.99	1 049.62	2 506.06	2 649.30	7 296.97	146 160.73	139 733.77	330 307.79	428 984.93	1 045 187.22
57	49.58	27.57	59.32	82.36	218.83	1 965.32	1 558.51	3 799.06	4 627.60	11 950.49
58	48.83	52.42	20.18	12.26	133.69	1 945.40	2 400.10	1 053.00	758.54	6 157.04
59	29.62	32.57	13.11	9.44	84.74	721.59	1 243.67	566.92	576.83	3 109.01
60	120.99	148.03	61.21	44.90	375.13	2 875.09	5 405.62	2 332.10	2 306.59	12 919.41
65*	132.52	132.99	303.09	561.97	1 130.58	8 441.66	8 464.05	20 144.43	39 832.70	76 882.84
69*	46.88	28.44	56.18	57.27	188.76	4 586.71	2 418.23	5 517.46	7 906.60	20 428.99
78*	146.61	73.24	209.17	332.82	761.83	14 400.51	7 182.03	19 617.22	29 699.47	70 899.23
79	16.65	8.29	20.76	27.94	73.64	731.21	362.06	913.94	1 340.21	3 347.41
80*	517.59	254.74	581.14	1 090.95	2 444.42	46 830.94	23 290.35	51 499.56	106 217.85	227 838.70

*: Sub Unidad Hidrográfica (S-UH) que presenta ICARHS con nivel “Excelente”.

Tabla 42. PME Ponderado por cada S-UH para Distancia Hidrológica

S-UH	1/r				SUMA
	UAT	DP	EH	GEO	
54*	388.54	442.77	1 111.04	680.70	2 623.05
57	0.78	0.38	0.65	1.13	2.93
58	0.22	0.24	0.08	0.06	0.60
59	0.10	0.13	0.05	0.05	0.33
60	0.94	1.07	0.48	0.29	2.77
65*	5.73	5.71	11.16	19.15	41.75
69*	0.83	0.58	0.91	0.69	3.01
78*	6.62	3.29	8.20	15.16	33.27
79	0.05	0.02	0.06	0.08	0.21
80*	44.01	19.08	42.80	87.23	193.12

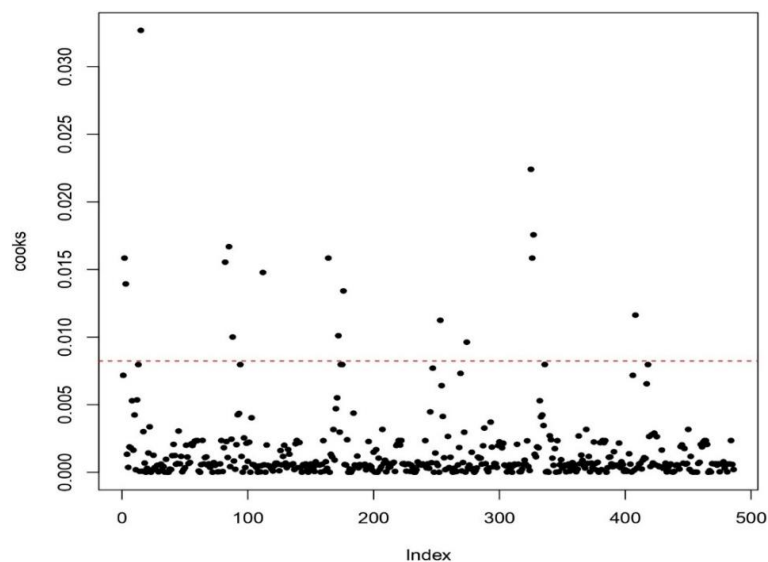
*: Sub Unidad Hidrográfica (S-UH) que presenta ICARHS con nivel “Excelente”.

4.2.2. Depuración de datos mediante distancia de Cook y diagramas de Caja

Posteriormente, se realizó una depuración de datos con el fin de eliminar observaciones influyentes que podrían distorsionar la estimación de parámetros. Para ello, se ajustó un modelo preliminar empleando como variable dependiente al ICARHS en función de las distancias ponderadas del Uso del Suelo, Densidad Poblacional, Erosión Hídrica y Geología, tal como se expresa en la siguiente expresión.

$$ICARHS \sim UAT + DP + EH + GEO$$

Así mismo, se evaluó la influencia mediante la Distancia de Cook (D_i). La Figura 31 muestra los valores de D_i , junto con la línea roja que representa el umbral clásico $D_i > 4/n$. Las observaciones que superaron dicho umbral fueron identificadas como influyentes, listadas en la Tabla 43, y posteriormente eliminadas para todos los análisis de regresión.

Figura 31. Distancia de Cook para modelo de RLM de Distancias con PMECA “Total”

Complementariamente, se elaboraron diagramas de caja para los PMECA y el ICARHS, incluidos en el Anexo E-4, los cuales evidenciaron la presencia de valores extremos, principalmente en parámetros como NT, CT, EC, SAAM y DBO5, confirmando la necesidad de depurar los valores influyentes detectados por la Distancia de Cook.

Tabla 43. Observaciones(ID) que fueron eliminados del Modelo

ID	S-UH	ICARHS	UAT	DP	EH	GEO	Distancia Cook
2	2	100.00	15164.54	14904.33	30812.29	32757.87	0.016
3	3	53.81	14071.04	13526.49	28218.57	31393.76	0.014
15	15	100.00	6534.12	4143.94	7493.60	9480.68	0.033
82	1	72.65	17746.21	16891.08	36458.93	36640.69	0.016
85	4	53.81	13851.66	13382.37	28026.90	31190.19	0.017
88	7	53.81	12297.72	11172.73	23210.09	26841.14	0.010
112	31	53.81	1539.67	690.51	1959.35	3090.95	0.015
164	2	100.00	15164.54	14904.33	30812.29	32757.87	0.016
172	10	46.98	9266.64	7451.89	15220.41	18895.90	0.010
176	14	82.08	6575.79	4173.26	7523.85	9552.95	0.013
253	10	45.14	9266.64	7451.89	15220.41	18895.90	0.011
274	31	61.19	1539.67	690.51	1959.35	3090.95	0.010
325	1	69.38	17746.21	16891.08	36458.93	36640.69	0.022
326	2	100.00	15164.54	14904.33	30812.29	32757.87	0.016
327	3	49.71	14071.04	13526.49	28218.57	31393.76	0.018
408	3	56.70	14071.04	13526.49	28218.57	31393.76	0.012

Fuente: Elaboración propia.

4.3. Desarrollo del modelo predictivo de Calidad del Agua en función de los PME, empleando Regresión Lineal Múltiple (RLM)

En este apartado, se desarrolló y evaluó los modelos predictivos que relacionen los Parámetros de Macro-Escala (PME) con los Parámetros de Calidad del Agua a Micro-Escala (PMECA), incorporando explícitamente la estructura espacial de la cuenca mediante distancias radial, paralela e hidrológica, y empleando regresión lineal múltiple (RLM) como modelo base. Este enfoque sigue la línea metodológica propuesta por Bostanmaneshrad et al. (2018), pero introduce mejoras sustanciales al considerar múltiples métricas de distancia, ponderaciones diferenciadas ($1/r$ y $1/\ln(r)$) y la evaluación comparativa por series hidrológicas.

Los resultados obtenidos para la serie 2021-I, evidencian que parámetros como Litio (Li), Boro (B), Temperatura (T), pH e ICARHS presentan coeficientes de determinación (R^2) moderados, alcanzando valores de hasta 0.473 bajo ponderación paralela $1/\ln(r)$. Estos valores, aunque no elevados, son consistentes con estudios de modelamiento ambiental a escala de cuenca, donde la calidad del agua responde de forma parcial a factores territoriales, debido a la coexistencia de procesos locales no representados a macro-escala (Bostanmaneshrad et al., 2018; Hernández et al., 2014).

Tabla 44. Modelos estadísticos entre PME y PMECA de la serie “2021-I”

Tipo de distancia	Peso de distancia	Variable dependiente	Ecuación primaria	R^2
Hidrológica	1/r	Li	$0.008 + 2.0 \times 10^{-5} \cdot A - 5.5 \times 10^{-5} \cdot B + 1.2 \times 10^{-5} \cdot C + 4.0 \times 10^{-6} \cdot D$	0.385
		ICARHS	$79.864 - 9.23 \times 10^{-3} \cdot A - 4.981 \times 10^{-2} \cdot B + 2.208 \times 10^{-2} \cdot C + 5.997 \times 10^{-3} \cdot D$	0.316
		B	$0.016 + 3.0 \times 10^{-5} \cdot A - 8.1 \times 10^{-5} \cdot B + 1.5 \times 10^{-5} \cdot C + 7.0 \times 10^{-6} \cdot D$	0.265
Paralela		Li	$0.007 + 0 \cdot A + 0 \cdot B + 0 \cdot C + 0 \cdot D$	0.473
		B	$0.014 + 0 \cdot A + 0 \cdot B + 0 \cdot C + 0 \cdot D$	0.326
	1/ln(r)	ICARHS	$79.166 - 4.3 \times 10^{-5} \cdot A - 1.88 \times 10^{-4} \cdot B + 5.5 \times 10^{-5} \cdot C + 4.2 \times 10^{-5} \cdot D$	0.273
		T	$17.848 - 2.0 \times 10^{-5} \cdot A + 2.7 \times 10^{-5} \cdot B - 5.0 \times 10^{-6} \cdot C + 2.0 \times 10^{-6} \cdot D$	0.226
		pH	$7.899 + 4.0 \times 10^{-6} \cdot A - 3.0 \times 10^{-6} \cdot B + 2.0 \times 10^{-6} \cdot C - 2.0 \times 10^{-6} \cdot D$	0.220
	1/r	Li	$0.008 + 1.7 \times 10^{-5} \cdot A - 2.6 \times 10^{-5} \cdot B + 1.1 \times 10^{-5} \cdot C - 5.0 \times 10^{-6} \cdot D$	0.398
		ICARHS	$79.683 - 1.018 \times 10^{-2} \cdot A - 1.224 \times 10^{-2} \cdot B + 8.10 \times 10^{-3} \cdot C + 3.603 \times 10^{-3} \cdot D$	0.277
		B	$0.015 + 2.7 \times 10^{-5} \cdot A - 3.8 \times 10^{-5} \cdot B + 1.6 \times 10^{-5} \cdot C - 9.0 \times 10^{-6} \cdot D$	0.274
		T	$17.736 - 1.652 \times 10^{-3} \cdot A + 2.452 \times 10^{-3} \cdot B - 6.58 \times 10^{-4} \cdot C + 3.38 \times 10^{-4} \cdot D$	0.208
		pH	$7.907 + 3.98 \times 10^{-4} \cdot A - 4.10 \times 10^{-4} \cdot B + 3.06 \times 10^{-4} \cdot C - 2.30 \times 10^{-4} \cdot D$	0.203
Radial	1/ln(r)	T	$18.357 - 4.3 \times 10^{-5} \cdot A + 6.5 \times 10^{-5} \cdot B - 1.5 \times 10^{-5} \cdot C + 6.0 \times 10^{-6} \cdot D$	0.266
		Li	$0.011 + 0 \cdot A + 0 \cdot B + 0 \cdot C + 0 \cdot D$	0.226
	1/r	T	$18.278 - 3.236 \times 10^{-2} \cdot A + 4.094 \times 10^{-2} \cdot B - 1.484 \times 10^{-2} \cdot C + 9.09 \times 10^{-3} \cdot D$	0.296
	pH	$7.843 + 6.232 \times 10^{-3} \cdot A - 6.907 \times 10^{-3} \cdot B + 4.390 \times 10^{-3} \cdot C - 2.962 \times 10^{-3} \cdot D$	0.254	
	ICARHS	$83.986 - 1.619 \times 10^{-1} \cdot A + 1.334 \times 10^{-1} \cdot B - 1.177 \times 10^{-2} \cdot C + 3.299 \times 10^{-2} \cdot D$	0.210	

A = Uso del suelo; B = Densidad poblacional; C = Erosión; D = Geología.

Desde el punto de vista interpretativo, la respuesta relativamente mayor de Li y B confirma el control geogénico sobre estos elementos, lo cual ya había sido evidenciado en los

análisis de correlación y conglomerados. Este comportamiento concuerda con estudios geoquímicos en cuencas mineralizadas y regiones de alta montaña, donde los elementos traza muestran una fuerte dependencia de la litología y de los procesos de meteorización (Mueller et al., 2007; Gregorini et al., 2025). La mejora observada al emplear distancias hidrológicas refuerza la hipótesis de que estos elementos se transportan siguiendo la red natural de drenaje.

En la serie Estiaje (Tabla 45), los modelos muestran un desempeño ligeramente superior para parámetros como Temperatura, Litio, Molibdeno y pH, con R^2 que alcanzan valores cercanos a 0.26–0.29 en las ecuaciones primarias y mejoras sustanciales en las ecuaciones modificadas. Este resultado es coherente con la literatura, que señala que durante periodos de bajo caudal la influencia espacial de los factores macroambientales se intensifica debido a la reducción de la mezcla longitudinal y a la mayor estabilidad hidrodinámica (Bedim et al., 2020; Malpartida, 2022). En este contexto, el uso del suelo, la geología y la erosión explican mejor la variabilidad de los parámetros fisicoquímicos.

Tabla 45. Modelos estadísticos entre PME y PMECA de la serie “Estiaje”

Tipo de distancia	Peso de distancia	Variable dependiente	Ecuación primaria	R ²
Hidrológica	1/r	ICARHS	$80.256 - 5.985 \times 10^{-3} \cdot A - 5.381 \times 10^{-2} \cdot B + 1.860 \times 10^{-2} \cdot C + 9.567 \times 10^{-3} \cdot D$	0.221
		Li	$0.009 + 2.0 \times 10^{-5} \cdot A - 6.3 \times 10^{-5} \cdot B + 1.6 \times 10^{-5} \cdot C + 3.0 \times 10^{-6} \cdot D$	0.256
Paralela	1/ln(r)	B	$0.016 + 0 \cdot A + 0 \cdot B + 0 \cdot C + 0 \cdot D$	0.209
		Li	$0.007 + 0 \cdot A + 0 \cdot B + 0 \cdot C + 0 \cdot D$	0.368
Radial	1/r	Li	$0.008 + 1.9 \times 10^{-5} \cdot A - 3.1 \times 10^{-5} \cdot B + 1.6 \times 10^{-5} \cdot C - 7.0 \times 10^{-6} \cdot D$	0.287
	1/ln(r)	T	$18.839 - 4.3 \times 10^{-5} \cdot A + 6.4 \times 10^{-5} \cdot B - 1.7 \times 10^{-5} \cdot C + 7.0 \times 10^{-6} \cdot D$	0.245
	1/r	Mo	$0.001 + 7.0 \times 10^{-6} \cdot A - 1.2 \times 10^{-5} \cdot B + 6.0 \times 10^{-6} \cdot C - 2.0 \times 10^{-6} \cdot D$	0.207
		pH	$7.945 + 5.539 \times 10^{-3} \cdot A - 5.878 \times 10^{-3} \cdot B + 2.614 \times 10^{-3} \cdot C - 1.984 \times 10^{-3} \cdot D$	0.210
		T	$18.750 - 2.981 \times 10^{-2} \cdot A + 3.914 \times 10^{-2} \cdot B - 1.522 \times 10^{-2} \cdot C + 8.827 \times 10^{-3} \cdot D$	0.265

A = Uso del suelo; B = Densidad poblacional; C = Erosión; D = Geología.

Por el contrario, los parámetros orgánicos y microbiológicos (DBO₅, DQO, CT, NT, S₂⁻) presentaron valores de R^2 bajos, incluso en estiaje, lo que confirma que su dinámica depende principalmente de fuentes puntuales e intermitentes, como descargas domésticas y actividades locales, más que de la estructura espacial de la cuenca. Este resultado es consistente con lo reportado en cuencas peruanas, donde dichos parámetros muestran alta variabilidad temporal y baja predictibilidad a partir de variables Macro-Espaciales (Malpartida, 2022; Bedim et al., 2020).

En la serie Avenida (Tabla 46), los valores de R^2 se reducen de manera generalizada, con máximos cercanos a 0.24, incluso para parámetros tradicionalmente

espaciales como Temperatura y Litio. Este comportamiento refleja el efecto de la mayor mezcla hidrodinámica y la dilución durante eventos de alto caudal, lo que atenúa los gradientes espaciales y reduce la capacidad predictiva de los PME. Bostanmaneshrad et al. (2018) reportan resultados similares, indicando que los modelos espaciales pierden capacidad explicativa bajo condiciones hidrológicas dominadas por procesos dinámicos.

Tabla 46. Modelos estadísticos entre PME y PMECA de la serie “Avenida”

Tipo de distancia	Peso de distancia	Variable dependiente	Ecuación primaria	R2
Hidrológica	1/r	Li	$0.009 + 1.9 \times 10^{-5} \cdot A - 5.4 \times 10^{-5} \cdot B + 1.4 \times 10^{-5} \cdot C + 2.0 \times 10^{-6} \cdot D$	0.239
		OD	$5.030 + 2.4 \times 10^{-5} \cdot A - 2.063 \times 10^{-3} \cdot B + 8.56 \times 10^{-4} \cdot C + 1.87 \times 10^{-4} \cdot D$	0.218
Paralela	1/ln(r)	Li	$0.008 + 0 \cdot A + 0 \cdot B + 0 \cdot C + 0 \cdot D$	0.309
		OD	$5.038 - 1.0 \times 10^{-6} \cdot A - 6.0 \times 10^{-6} \cdot B + 0 \cdot C + 2.0 \times 10^{-6} \cdot D$	0.219
	1/r	Li	$0.009 + 1.6 \times 10^{-5} \cdot A - 2.6 \times 10^{-5} \cdot B + 1.3 \times 10^{-5} \cdot C - 6.0 \times 10^{-6} \cdot D$	0.253
		OD	$4.988 - 2.38 \times 10^{-4} \cdot A - 7.96 \times 10^{-4} \cdot B + 2.07 \times 10^{-4} \cdot C + 2.82 \times 10^{-4} \cdot D$	0.244
Radial	1/r	OD	$5.222 - 1.022 \times 10^{-2} \cdot A + 9.454 \times 10^{-3} \cdot B - 5.341 \times 10^{-3} \cdot C + 4.607 \times 10^{-3} \cdot D$	0.221
		T	$19.746 - 2.383 \times 10^{-2} \cdot A + 3.310 \times 10^{-2} \cdot B - 1.233 \times 10^{-2} \cdot C + 6.482 \times 10^{-3} \cdot D$	0.203

A = Uso del suelo; B = Densidad poblacional; C = Erosión; D = Geología.

La serie Total (Tabla 47), que integra todas las campañas y, como era esperable, presenta valores de R² intermedios y generalmente inferiores a los obtenidos en las series individuales. Sin embargo, parámetros como Temperatura, *Escherichia Coli*, Sodio, Magnesio y Sulfatos conservan relaciones significativas con los PME, lo que evidencia que estos parámetros están controlados por procesos estructurales persistentes asociados al uso del suelo y la geología. Este hallazgo es consistente con los resultados de los análisis previos (AHP, Pearson y conglomerados), reforzando la coherencia interna del modelo conceptual PME–PMECA.

Tabla 47. Modelos estadísticos entre PME y PMECA de la serie “Total”

Tipo de distancia	Peso de distancia	Variable dependiente	Ecuación primaria	R2
Hidrológica	1/r	ICARHS	$79.991 - 6.557 \times 10^{-3} \cdot A - 4.620 \times 10^{-2} \cdot B + 1.649 \times 10^{-2} \cdot C + 8.370 \times 10^{-3} \cdot D$	0.202
		Li	$0.009 + 1.8 \times 10^{-5} \cdot A - 5.2 \times 10^{-5} \cdot B + 1.3 \times 10^{-5} \cdot C + 2.0 \times 10^{-6} \cdot D$	0.223
Paralela	1/ln(r)	Li	$0.008 + 0 \cdot A + 0 \cdot B + 0 \cdot C + 0 \cdot D$	0.322
	1/r	Li	$0.009 + 1.7 \times 10^{-5} \cdot A - 2.7 \times 10^{-5} \cdot B + 1.4 \times 10^{-5} \cdot C - 7.0 \times 10^{-6} \cdot D$	0.256
		1/ln(r)	T	$19.320 - 3.8 \times 10^{-5} \cdot A + 5.8 \times 10^{-5} \cdot B - 1.4 \times 10^{-5} \cdot C + 5.0 \times 10^{-6} \cdot D$
Radial	1/r	T	$19.264 - 2.626 \times 10^{-2} \cdot A + 3.586 \times 10^{-2} \cdot B - 1.343 \times 10^{-2} \cdot C + 7.293 \times 10^{-3} \cdot D$	0.227

A = Uso del suelo; B = Densidad poblacional; C = Erosión; D = Geología.

4.3.1. Comparación entre distancias Radial, Paralela e Hidrológica

La comparación entre las distancias radial, paralela e hidrológica demuestra de manera consistente que la distancia hidrológica ponderada con $1/r$ ofrece el mejor desempeño global, especialmente para el índice ICARHS, con valores máximos de R^2 de 0.221 (Estiaje), 0.239 (Avenida) y 0.202 (Total). Estos resultados confirman que la calidad del agua está más estrechamente relacionada con la conectividad hidrológica real que con la proximidad euclidiana, tal como lo plantean Bostanmaneshrad et al. (2018) y estudios recientes de análisis espacial de calidad del agua; mientras que para el PMECA “Litio”, se obtuvo un R^2 de 0.287, en Distancia Paralela para la ponderación inversa “ $1/r$ ”, para estiaje; y R^2 de 0.253 y 0.227, para avenida y total respectivamente.

4.3.2. Aspectos generales de los modelos lineales

Finalmente, la clasificación de los parámetros según su respuesta al modelo permite extraer conclusiones de alto valor aplicado. Los parámetros altamente espaciales (T, EC, Mg, Na, Cl, SO_4^{2-} , Li) muestran que los PME explican una fracción significativa de su variabilidad; los parámetros de respuesta moderada reflejan una interacción mixta entre procesos espaciales y locales; mientras que los parámetros de baja respuesta confirman la necesidad de enfoques complementarios, como modelos no lineales basados en Inteligencia Artificial, para capturar relaciones complejas y no lineales, tal como se desarrolla en la etapa posterior del estudio.

V. CONCLUSIONES

- Se evidenció relación estadísticamente significativa entre los Parámetros de Macro Escala de Uso del Suelo (uso Urbano) y Densidad Poblacional, con los Parámetros de Micro Escala de Calidad del Agua, como *Escherichia Coli* (EC), Coliformes Termotolerantes (CT), y la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), en todas las campañas de monitoreo analizadas (avenida y estiaje), confirmando la influencia actividades antropogénicas sobre la calidad del agua.
- Se confirmó que distancia de los PME y los PMECA, incrementa su influencia sobre la calidad del agua en sus tres tipos: radial, paralela e hidrológica, donde este último presentó mayores niveles de explicación de la relación PME–PMECA, mientras que las distancias radial y paralela evidenciaron un menor efecto; donde los procesos de transporte de contaminantes y sedimentos se rigen por la conectividad hidrológica, principalmente en Subunidades Hidrográficas con mayores presiones antrópicas y cercanas al río principal, que registraron menor calidad del agua en comparación de las que no presentaron actividades antrópicas, cuya calidad del agua es Excelente según el Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos (ICARHS).
- Se desarrollaron modelos predictivos mediante Regresión Lineal Múltiple (RLM) que relacionan los PME con los PMECA, incluido el ICARHS; donde los modelos obtenidos presentaron coeficientes de determinación (R²) medios para la mayoría de parámetros analizados, lo que indica una regular capacidad explicativa de los modelos, especialmente para Litio, Boro, Temperatura, pH e ICARHS; y baja capacidad explicativa para variables orgánicas y microbiológicas como: DBO₅, DQO, CT, EC, NT, cuya dinámica depende principalmente de fuentes puntuales e intermitentes no capturadas por los PME.

VI. PROPUESTA A FUTURO

- Desarrollar investigaciones que determinen la relación del nivel del aporte geoquímico con los parámetros de calidad del agua a una escala pequeña, en determinadas cuencas hidrográficas del territorio nacional.
- Incluir el criterio hidrográfico y geoespacial para el monitoreo de calidad del agua en la gestión de los recursos hídricos, ya que actualmente se desarrolla en función a la identificación de fuentes contaminantes.
- Ampliar la serie temporal de análisis, incorporando nuevos periodos de monitoreo, con la finalidad de fortalecer la robustez estadística de los modelos predictivos y evaluar tendencias de largo plazo asociadas al cambio del uso del suelo y al crecimiento poblacional.
- Incorporar técnicas avanzadas de inteligencia artificial y aprendizaje automático (por ejemplo, Random Forest, Support Vector Regression o redes neuronales), como complemento a la regresión lineal múltiple, para mejorar la capacidad predictiva y capturar relaciones no lineales entre los PME y los PMECA.
- Incrementar la densidad espacial de estaciones de monitoreo en subunidades hidrográficas críticas, especialmente en zonas urbanas y agrícolas con alta conectividad hidrológica, a fin de reducir la incertidumbre espacial del modelo.
- Integrar variables hidrometeorológicas adicionales, como precipitación efectiva, caudal y estacionalidad climática, que permitan mejorar la interpretación de los procesos de transporte y dilución de contaminantes.
- Utilizar los resultados del modelo como herramienta de apoyo a la gestión ambiental, priorizando áreas para el control de fuentes de contaminación, planificación del uso del suelo y formulación de políticas de protección de los recursos hídricos en la Intercuenca Alto Huallaga.
- Replicar la metodología en otras cuencas del país, aprovechando la disponibilidad de información geoespacial pública, con el objetivo de consolidar un enfoque estandarizado y costo-efectivo para la evaluación y predicción de la calidad del agua superficial en el Perú.

VII. REFERENCIAS

- Alderete, M. (2022). Evaluación de la calidad de aguas superficiales en la cuenca del Río Rímac mediante análisis multivariado para el período 2011 – 2018. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio La Molina. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/5360>.
- Autoridad Nacional del Agua. (2020). Metodología para la determinación del Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales (ICARHS). [Resolución Jefatural N° 084-2020-ANA]. Repositorio Institucional de la ANA. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/4479>.
- Autoridad Nacional del Agua. (2014). Monitoreo de calidad del agua de la cuenca del Río Huallaga-Parte Alta, Pasco, Huánuco y Tingo María. Informe Técnico N° 064-2014-ANA-DGCRH/GOCRH. 62 p.
- Autoridad Nacional del Agua. (2021). II Monitoreo Participativo de la Calidad de los Recursos Hídricos superficiales en la Unidad Hidrográfica Huallaga (4984), época de estiaje. Informe Técnico N° 0030-2021-ANA-AAA.H/FTD. 509 p.
- Baba, A. & Gündüz, O. (2017). Efecto de los factores geogénicos en la calidad del agua y su relación con la salud humana alrededor del Monte Ida, Turquía. Agua, 9 (1), 66. MDPI AG. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.3390/w9010066>.
- Bastidas, D. (2011). Estimación de la densidad poblacional del Ecuador Continental. Analitika, (1). Quito, D - Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. Recuperado de <https://elibro.net/es/ereader/bibliotecaunas/96194?page=3>.
- Bedim Godoy, R. F., Crisiogiovanni, E. L., Trevisan, E., & Radomski, F. A. D. (2020). Variación espacial y temporal de la calidad del agua en una cuenca del centro-oeste de Paraná, Brasil. Ambiente & Água, 15(4), 1–17.
- Bostanmaneshrad, F., Partani, S., Noori, R., Nachtnebel, H. P., Berndtsson, R., & Adamowski, J. F. (2018). Relationship between water quality and macro-scale parameters (land use, erosion, geology, and population density) in the Siminehrood River Basin. Science of the Total Environment, 639, 1588–1600. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.244>.

- Camargo, C., Pacheco, C., & Lopez, R. (2017). Erosión hídrica, fundamentos, evaluación y representación cartográfica: una revisión con énfasis en el uso de sensores remotos y Sistemas de Información Geográfica. *Gestión y Ambiente* 20(2), 265-280. <https://doi.org/10.15446/ga.v20n2.63917> .
- Campos, P. A., Valdez, I. C., Moreno, R. I., Avendaño, A. J., & Villagra, A. V. (2013). Evaluación de la erosión estimada y medida en campo mediante dos propuestas metodológicas. *Investigaciones en Facultades de Ingeniería del NOA, IX Jornada de Ciencia y Tecnología*. <https://fcf.unse.edu.ar/archivos/publicaciones/codinoa-2013/trabajos/ambiente/09-campos.pdf>.
- Carrión, S. (2018). Evaluación de la intercuencia Alto Huallaga haciendo uso de la Hidrología de Bosques. [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio PUCAP. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/14598>.
- Carvalho, D. F. de ., Durigon, V. L., Antunes, M. A. H., Almeida, W. S. de ., & Oliveira, P. T. S. de .. (2014). Predicting soil erosion using Rusle and NDVI time series from TM Landsat 5. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 49(3), 215–224. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2014000300008>.
- Castro, A., Lince, L., & Riaño, M. (2017). Determinación del riesgo a la erosión potencial hídrica en la zona cafetera del Quindío, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 8(1), 17–25. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6285724.pdf>.
- Cerna, A., Aguirre, C., Wong, F., Bertha, L., Tello, C., Janeth, L., & Pinchi, W. (2022). Calidad de agua para riego en la cuenca Huallaga, Perú. *Scientia Agropecuaria*, 13(3), 239-248. Epub 08 de agosto de 2022. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2022.022>.
- Cheng, C., Zhang, F., Shi, J. & Te Kung, H. (2022). ¿Cuál es la relación entre el uso de la tierra y la calidad del agua superficial? Una revisión y perspectivas desde la perspectiva de la teledetección. *Environ Sci Pollut Res* 29 , 56887 (56907). <https://doi.org/10.1007/s11356-022-21348-x> .
- Chidiac, S., El Najjar, P., Ouaini, N., El Rayess, Y., & El Azzi, D. (2023). Una revisión exhaustiva de los índices de calidad del agua (WQI): historia, modelos, intentos y perspectivas. *Rev Environ Sci Biotechnol*. <https://doi.org/10.1007/s11157-023-09650-7> .
- Cisneros, J., Cholaky, C., Cantero, A., Gonzáles, J., Reynero, M., Diez, A., & Bergesio, L. (2012). Erosión hídrica, principios y técnicas de manejo. Unirío Editora.

https://www.researchgate.net/profile/Jos-Cisneros/publication/261950035_Erosion_Hidrica_Principios_y_Tecnicas_de_Manejo/links/0deec5360142db3b03000000/Erosion-Hidrica-Principios-y-Tecnicas-de-Manejo.pdf .

Colegio de Ingenieros del Perú. (2025). Estadísticas de colegiados [Página web]. Recuperado el 13 de agosto de 2025, de <https://www.cip.org.pe/estadisticas-de-colegiados/>.

Corroto, F., Gamarra, O., & Barboza, E. (2018). Evaluación multivariante de la calidad del agua en la cuenca del Utcubamba (Perú). *Tecnología y ciencias del agua*, 9(5), 33-57. Epub 24 de noviembre de 2020. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2018-05-02> .

Doaemo, W., Betasolo, M., Montenegro, J., Pizzigoni, S., Kvashuk, A., Valappil, P., & Mohan, M. (2023). Evaluating the Impacts of Environmental and Anthropogenic Factors on Water Quality in the Bumbu River Watershed, Papua New Guinea. *Water*. 15(489). <https://doi.org/10.3390/w15030489> .

Decreto Supremo N.º 004-2017-PCM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias (7 de junio de 2017). <https://busquedas.elperuano.pe/download/url/aprueban-estandares-de-calidad-ambiental-eca-para-agua-y-e-decreto-supremo-n-004-2017-minam-1529835-2> .

Del Castillo, J. (2023). Evaluación de la pérdida del suelo por erosión hídrica utilizando metodología RUSLE con SIG en la cuenca del río Sacanche – San Martín [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional UNAS. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/2715>.

Environmental Protection Agency. (26 de abril de 2023). Standards for Water Body Health. [https://www.epa.gov/standards-water-body-health/what-are-water-quality-standards#:~:text=Water%20quality%20standards%20\(WQS\)%20are,will%20be%20protected%20or%20achieved](https://www.epa.gov/standards-water-body-health/what-are-water-quality-standards#:~:text=Water%20quality%20standards%20(WQS)%20are,will%20be%20protected%20or%20achieved) .

Espinel, M. C., Bruno, A., & Plasencia, I. (2010). La comprensión de gráficas de porcentaje de variación en situaciones cotidianas. *Revista Iberoamericana de Educación Matemática*, 24, 83–102. Recuperado de <https://mail.revistaunion.org/index.php/UNION/article/view/969/676>.

Esvabard Polar Iceberg Water. (26 de abril de 2023). Water Quality: Information, Importance and Testing. <https://svalbardi.com/blogs/water/quality> .

- Fernandez, S. (2011). Analisis de Conglomerados. Recuperado 8 de febrero de 2023, de <https://www.fuenterrebollo.com/Economicas/ECONOMETRIA/SEGMENTACION/CONGLOMERADOS/conglomerados.pdf>
- Ferrer-Paris, J. R. (2016). Cuatro métodos para la estimación de la densidad de población humana para el estado Zulia, República Bolivariana de Venezuela (Version 2). figshare. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.2095720.v2>.
- Flores, J. (2017). Analisis de una red de monitoreo de calidad de agua en la cuenca del río Jequetepeque mediante análisis multivariado[Tesis de maestria, Pontificia Universidad Catolica del Perú]. Repositorio PUCAP. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/9381> .
- García, M., Sanchez, F., & Granados, J. (2019). Evaluación del crecimiento de la población y transformación del uso de suelo urbano en la Zona Metropolitana de Pachuca, México. Quivera. Revista de Estudios Territoriales, 21(2), 63-81.
- García, M. (02 de setiembre de 2021). ¿Qué es el análisis multivariado? Aprende a dominar datos y variables. Future of people, Creahana. <https://www.crehana.com/blog/transformacion-digital/analisis-multivariado/> .
- García, T. & Mas, J. (2008). Comparación de metodologías para el mapeo de la cobertura y uso del suelo en el sureste de México. Investigaciones geográficas, (67), 7-19. Recuperado en 12 de mayo de 2023, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112008000300002&lng=es&tlng=es.
- Geo Bosques. (8 de Febrero de 2022). Obtenido de Bosque y Pérdida de Bosque: <http://geobosques.minam.gob.pe/geobosque/view/descargas.php?122345gxxe345w34gg>
- Granados, R. M. (s. f.). Modelos de regresión lineal múltiple. Ugr.es. Recuperado 8 de febrero de 2023, de https://www.ugr.es/~montero/matematicas/regresion_lineal.pdf .
- Gregorini, C. A., Ares, M. G., Gualde, M. S., Fornés, M., Arrouy, M. J., Chagas, C. I., & Cazenave, G. (2025). Producción de sedimentos en una microcuenca agropecuaria y su relación con procesos hidrológicos. Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente, 52, e022.
- Gu, S., Chen, Y., Wu, Z., et al. (2016). Discriminant analysis of spatial–temporal variations in water quality of a river in China. Environmental Monitoring and Assessment, 188(4), 1–14. <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5231-3>.

- Haftu, Z., & Estifanos, S. (2020). Investigation of physico-chemical Characteristics and Heavy Metals Concentration Implying to the Effect of Local Geology on Surface Water Quality of Werii Catchment, Tigray, Ethiopia. *EQA - International Journal of Environmental Quality*, 40, 11–18. <https://doi.org/10.6092/issn.2281-4485/10602> .
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2019). *Multivariate data analysis* (8th ed.). Cengage.
- Hernandez, R. & Mendoza, C. (2018). *Metodologia de la investigacion: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill Interamericana Editores.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.ª ed.). McGraw Hill España. ISBN 978-1-4562-2396-0.
- Hongmei, B., Wei, M. Yuan, Z., Jun, W. (2014). Relationships between land use patterns and water quality in the Taizi River basin, China. *ScienceDirect* , 41(0) ,187-197. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1470160X14000545>.
- Huerta, P., & Loli, O. (2014). Erosión hídrica en la cuenca alta del río Moche. *Ecología Aplicada*, 13(1), 15-22. Recuperado en 23 de mayo de 2023, de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-22162014000100002&lng=es&tlng=es .
- Instituto Geológico Minero y Metalurgico. (2023). Mapa Geológico del Perú. Mapas de divulgación. <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/3837> .
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2020). Perú: Estimaciones y proyecciones de población por departamento, provincia y distrito, 2018–2020 (Boletín especial N.º 26, 110 pp.). Instituto Nacional de Estadística e Informática. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitaless/Est/Lib1715/libro.pdf.
- Jolliffe, T. & Cádima, J. (2016). Análisis de componentes principales: una revisión y desarrollos recientes *Phil. Trans. R. Soc. A.* 374:20150202. 20150202. <https://doi.org/10.1098/rsta.2015.0202> .
- Li, P., Wang, Y., Wang, C., Tian, L., Lin, M., Xu, S. y Zhu, C. (2025). Comparación de productos recientes de series temporales globales de cobertura terrestre. *Teledetección* , 17 (8), 1417. <https://doi.org/10.3390/rs17081417>.

- Liyanage, C. & Yamada, K. (2017). Impact of Population Growth on the Water Quality of Natural Water Bodies. *Journal Sustainability*. 1405 (9), 1-14 DOI. <https://doi.org/10.3390/su9081405>.
- Lupi, O., Zaradnik, I. y Canziani, M. (2020). Estado de arte de los sistemas de monitoreo de calidad de agua. *ReDDi: Revista digital del Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas de la Universidad Nacional de La Matanza*, 5(2), 1-8. <http://repositoriocyt.unlam.edu.ar/handle/123456789/1221> .
- Marselina, M., Wibowo, F., & Mushfiroh, A. (2022). Water quality index assessment methods for surface water: A case study of the Citarum River in Indonesia. *Heliyon*, 8(7), e09848. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09848> .
- Mayer, A. L., Buma, B., Davis, A. D., GagnCrossed D Sign, S. A., Louise Loudermilk, E., Scheller, R. M., Schmiegelow, F. K. A., Wiersma, Y. F., & Franklin, J. (2016). How Landscape Ecology Informs Global Land-Change Science and Policy. In *BioScience* (Vol. 66, Issue 6, pp. 458–469). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/biosci/biw035> .
- Mendoza, A., Solano, C., Palencia, D., & Garcia, D. (s. f.). Application of the Analytical Hierarchy Process (AHP) for decision-making with expert judgment. *Conicyt.cl*. Recuperado 7 de febrero de 2023, de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/ingeniare/v27n3/0718-3305-ingeniare-27-03-00348.pdf> .
- Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. (2018). El programa Copernicus aplicado a la producción y gestión de la información geoespacial, Corine Land Cover. https://www.ign.es/web/resources/docs/IGNCnig/actividades/OBS/Programa_Marco_Copernicus_User_Uptake/9_Corine_Land_Cover.pdf .
- Mueller, S. H., Goldfarb, R. J., Verplanck, P. L., Trainor, T. P., Sanzalone, R. F., & Adams, M. (2007). Surface-water and ground-water geochemistry in mineralized regions. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2007-5289.
- Nakaya, D. (2023). Análisis espacial de la pérdida de suelo por erosión hídrica en el área de influencia ambiental de la U.M. Corihuarmi [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional UNI. <http://hdl.handle.net/20.500.14076/26950>.
- National Oceanic y Atmospheric Administration. (26 de abril de 2023). Water quality describes the condition of the water. <https://floridakeys.noaa.gov/ocean/waterquality.html>.

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura & Grupo Técnico Intergubernamental del Suelo. (2015). Estado mundial del recurso suelo, Resumen Técnico. FAO. <https://www.fao.org/3/i5126s/I5126S.pdf> .
- Ouyang, Y. (2005). Evaluation of river water quality monitoring stations by principal component analysis, *Water Research*, 39(12). <https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.04.024>.
- Peña, J., Poveda, RM, Bonet, A., Bellot, J., & Escarré, A. (2005). Cartografía de las coberturas y usos del suelo de la marina baixa (Alicante) para 1956, 1978 y 2000. *Investigaciones Geográficas (Esp)* , (37), 93-107.
- Pino, E., Tacora, P., Steenken, A., Alfaro, L., Valle, A., Chávarri, E., Ascencios, D., & Mejía, J. (2017). Efecto de las características ambientales y geológicas sobre la calidad del agua en la cuenca del río Caplina, Tacna, Perú. *Tecnología y ciencias del agua*, 8(6), 77-99. Epub 06 de agosto de 2021. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-06-06>.
- Phinzi, K., & Ngetar, N. S. (2019). The assessment of water-borne erosion at catchment level using GIS-based RUSLE and remote sensing: A review. *International Soil and Water Conservation Research*, 7(1), 27–46. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2018.12.002>.
- Posada, E., & Salvatierra, C. (2019). Análisis comparativo de las metodologías de los sistemas de clasificación de la cobertura de la Tierra LCCS y CORINE, para mapeo de coberturas terrestres. *Revista Geográfica*, (157), 135–160. Recuperado a partir de <https://revistasipgh.org/index.php/regeo/article/view/215> .
- Reimann, C., Finne, T. E., Nordgulen, Ø., Sæther, O. M., Arnoldussen, A., & Banks, D. (2009). The influence of geology and land-use on inorganic stream water quality in the Oslo region, Norway. *Applied Geochemistry*, 24(10), 1862–1874. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2009.06.007>.
- Reimann, C., & de Caritat, P. (2005). Distinguishing between natural and anthropogenic sources for elements in the environment: regional geochemical surveys versus enrichment factors. *Science of the Total Environment*, 337(1–3), 91–107. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.06.011>.
- Rojó Abuín, J. M. (2007). Regresión lineal múltiple. Cloudfront.net. Recuperado 8 de febrero de 2023, de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/36787341/REGRESION_LINEAL_MULTIPLE_3-libre.PDF .

- Rodríguez-Eraso N., Pabón-Caicedo J.D., Bernal-Suárez N.R. y Martínez-Collantes J. (2010). Cambio climático y su relación con el uso del suelo en los Andes colombianos. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Universidad Nacional de Colombia y Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación. Bogotá, D. C., Colombia. 80 p.
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS (NASA SP-351, pp. 309–317). National Aeronautics and Space Administration. <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19740022614/downloads/19740022614.pdf>
- Russell, D. (2016). Tratamiento de Aguas Residuales: Un Enfoque Práctico. Editorial Reverté S.A.
- Sabino, E., Lavado, W. y Asencios, H. (2021). Atlas de producción de sedimentos del Perú: Una evaluación histórica y futura. Lima: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.12542/1609> .
- Santillán, J. (2023). Altos niveles de erosión hídrica en una microcuenca tropical calculado mediante el modelo USLE. FIGEMPA: Investigación y Desarrollo, 15(1), 26-39. <https://doi.org/10.29166/revfig.v15i1.4269> .
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. (2016). Ciclos horarios de precipitación en el Perú utilizando información satelital. Lima: Senamhi.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. (2020). Climas del Perú, Mapa de Clasificación Climática Nacional. Resumen Ejecutivo. 7p.
- Soil Science Society of America. (s.f). Erosion. Recuperado el 24 de mayo de 2023, de <https://www.soils4teachers.org/erosion/#:~:text=Three%20types%20of%20water%20erosion,sheet%2C%20rill%2C%20and%20gully>.
- Teng, H., Liang, Z., Chen, S., Liu, Y., Viscarra Rossel, R. A., Chappell, A., Yu, W., & Shi, Z. (2018). Current and future assessments of soil erosion by water on the Tibetan Plateau based on RUSLE and CMIP5 climate models. Science of The Total Environment, 635, 673–686. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.146>.
- Torres, P., Cruz, C., & Patiño, P. (2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano: Una revisión crítica. Revista Ingenierías Universidad de Medellín , 8 (15, Supl. 1), 79-94. Recuperado el 05 de mayo

de 2023, de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-33242009000300009&lng=en&tlng=es.

Uddin, M., Nash, S. & Olbert, A. (2021). A review of water quality index models and their use for assessing surface water quality, *Ecological Indicators*. 122(2021). <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107218>.

Vargas Trejos, Y., (2011). Demografía Ambiental: ¿Cómo explicar el crecimiento poblacional a partir del enfoque de las fuerzas mediadoras?. *Revista Geográfica de América Central*, 1 (46), 37-64.

Weather Spark. (7 de Febrero de 2022). Weather Spark. Obtenido de Weather Spark Web site: <https://es.weatherspark.com/y/21405/Clima-promedio-en-Uchiza-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o>.

Yepes, V. (2018). Proceso Analítico Jerárquico (Analytic Hierarchy Process, AHP). Recuperado 8 de febrero de 2023, de <https://victoryepes.blogs.upv.es/2018/11/27/proceso-analitico-jerarquico-ahp/>.

VIII. ANEXOS

Anexo A. VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS POR EXPERTOS

A-1 : Validación de instrumento que mide la relación de los PME y PMECA (AHP)



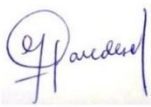


	UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL "Relación de los Parámetros de Macro-Escala y la Calidad del Agua en la Intercuenca Alto Huallaga, 2014-2022"										
FICHA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO DE MEDICIÓN DE PARAMETROS DE MACROESCALA SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA											
I. Datos Generales del Experto											
Apellidos y Nombres	PAREDES SALAZAR JOSE LUIS										
Profesión	INGENIERO QUÍMICO										
Grado Académico	Dr. en Ciencias e Ingeniería Dr. en Ingeniería Química y Ambiental	N° DNI	16737917								
Institución en la que labora	Universidad Nacional Agraria de la Selva										
Cargo que ocupa	Docente	Fecha	01/04/2025								
Email	jose.paredes@unas.edu.pe	Celular	922808142								
II. Criterios de Validación Marque con una X dentro del recuadro de puntuación según estime pertinente.											
Criterios	Indicadores	Deficiente		Regular		Buena		Muy Buena		Excelente	
		10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
Claridad	Está formulado con lenguaje apropiado y específico					X					
Objetividad	Está expresado en conductas observables							X			
Actualidad	Adecuado al avance de la ciencia y tecnología									X	
Suficiente	Comprende de los aspectos en cantidad y calidad							X			
Intencionalidad	Adecuado para valorar aspectos de las estrategias								X		
Consistencia	Basados en aspectos teóricos-científicos									X	
Coherencia	Entre las variables, dimensiones e indicadores							X			
Metodología	La estrategia responde al propósito del diagnóstico						X				
Pertenencia	El instrumento es funcional para el propósito de la investigación							X			
PROMEDIO DE VALIDACIÓN		75%									
III. Opiniones La comparación de factores al inicio generó cierta incertidumbre para elegir aquel que impacta negativamente ya que al analizar el macro factor hay que realizar la reproducción de los efectos sobre la liberación natural de elementos químicos, sus posibles reacciones o la inserción de material físico de naturaleza tóxica o no, que finalmente repercute en la calidad del agua. Es decir, es un reto evaluar calidad del agua partiendo de un nivel macro a un nivel micro, que finalmente son los contaminantes del agua.											
Datos de Contacto Tesista : Bernabe Luwy Leonardo Guzman Huaranga Cel. : 9216881610 Email : luwy.guzman@unas.edu.pe Dirección : Tingo María, Perú											
Atentamente,											
											
<hr/> Apellidos y Nombres : Paredes Salazar José Luis N° DNI : 16737917 Institución : Universidad Nacional Agraria de la Selva											

Figura 32. Validación del Instrumento de la relación PME y PMECA por Experto 1



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
"Relación de los Parámetros de Macro-Escala y la Calidad del Agua en la Intercuenca Alto Huallaga, 2014-2022"



FICHA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO DE MEDICIÓN DE PARAMETROS DE MACROESCALA SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA

I. Datos Generales del Experto

Apellidos y Nombres	Pedro Christopher Rau Lavado		
Profesión	Ingeniero Civil		
Grado Académico	Doctor	N° DNI	41900881
Institución en la que labora	UTEC Universidad de Ingeniería y Tecnología		
Cargo que ocupa	Profesor Asociado	Fecha	25-mar-2025
Email	prau@utec.edu.pe	Celular	998696447

II. Criterios de Validación

Marque con una X dentro del recuadro de puntuación según estime pertinente.

Criterios	Indicadores	Deficiente		Regular		Buena		Muy Buena		Excelente	
		10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
Claridad	Está formulado con lenguaje apropiado y específico								X		
Objetividad	Está expresado en conductas observables										X
Actualidad	Adecuado al avance de la ciencia y tecnología							X			
Suficiente	Comprende de los aspectos en cantidad y calidad				X						
Intencionalidad	Adecuado para valorar aspectos de las estrategias										X
Consistencia	Basados en aspectos teóricos-científicos							X			
Coherencia	Entre las variables, dimensiones e indicadores								X		
Metodología	La estrategia responde al propósito del diagnóstico										X
Pertenencia	El instrumento es funcional para el propósito de la investigación										X
PROMEDIO DE VALIDACIÓN		78% (Muy Buena) Valor promedio y rango que corresponda									


III. Opiniones

En general cumple el estándar de encuesta, se recomiendo considerar aspectos de la cantidad de agua, expresado en valores o registros que tengan los especialistas sobre tirantes y velocidades de agua como variables importantes para la calidad. Estos no podrían considerarse como macro-escala, pero ante eventos extremos climáticos y meteorológicos pueden asociarse. Así también otro parámetro importante de macroescala sería el clima en la cuenca, esto es más incierto su estimación, no solo depende de algunas estaciones de medición, por ello su importancia de relacionarlo con condiciones locales como el tirante y velocidad en un río.

Datos de Contacto


Tesista : Bernabe Luyw Leonardo Guzman Huaranga
 Cel. : 9216881610
 Email : luyw.guzman@unas.edu.pe
 Dirección : Tingo María, Perú

Atentamente,




Apellidos y Nombres : Pedro Christopher Rau Lavado
 N° DNI : 41900881
 Institución : UTEC Universidad de Ingeniería y Tecnología

Figura 33. Validación del Instrumento de la relación PME y PMECA por Experto 2



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

"Relación de los Parámetros de Macro-Escala y la Calidad del Agua en la Intercuenca Alto Huallaga; 2014-2022"



FICHA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO DE MEDICIÓN DE PARAMETROS DE MACROESCALA SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA

I. Datos Generales del Experto

Apellidos y Nombres	Espiritu Limay Cesar Gregorio		
Profesión	Química		
Grado Académico	Licenciatura	N° DNI	42423840
Institución en la que labora	Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental – OEFA		
Cargo que ocupa	Tercero Evaluador	Fecha	10-03-25
Email	cesar.espiritu.limay1@gmail.com	Celular	955875045

II. Criterios de Validación

Marque con una X dentro del recuadro de puntuación según estime pertinente.

Criterios	Indicadores	Deficiente		Regular		Buena		Muy Buena		Excelente	
		10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
Claridad	Está formulado con lenguaje apropiado y específico						X				
Objetividad	Está expresado en conductas observables							X			
Actualidad	Adecuado al avance de la ciencia y tecnología						X				
Suficiente	Comprende de los aspectos en cantidad y calidad					X					
Intencionalidad	Adecuado para valorar aspectos de las estrategias						X				
Consistencia	Basados en aspectos teóricos-científicos						X				
Coherencia	Entre las variables, dimensiones e indicadores							X			
Metodología	La estrategia responde al propósito del diagnóstico							X			
Pertenencia	El instrumento es funcional para el propósito de la investigación						X				
PROMEDIO DE VALIDACIÓN		65									


III. Opiniones

Hay que conceptualizar los factores a carácter de unidades hidrográficas que pertenecen a la Intercuenca Alto Huallaga; puesto que hay parámetros que no son de macroescala.

Datos de Contacto

Tesista : Bernabe Luwy Leonardo Guzman Huaranga
 Cel. : 9216881610
 Email : luwy.guzman@unas.edu.pe
 Dirección : Tingo María, Perú

Atentamente,



Firmado digitalmente por:
 ESPIRITU LIMAY CESAR GREGORIO FIR 42423840 hard
 Motivo: Soy el autor del documento
 Fecha: 10/03/2025 08:17:21-0500

Apellidos y Nombres :

N° DNI :

Institución :

Figura 34. Validación del Instrumento de la relación PME y PMECA por Experto 3

A-2 : Determinación del Índice y Relación de Consistencia de Expertos

Experto 1

Comparación de Pares de los Parámetros de Macro Escala (PME) - RC <0.1

MATRIZ DE COMPARACIÓN DE PARES				
Parámetro Macro-Escala	Geología	Erosión Hídrica	Uso de Suelo	Densidad Poblacional
Geología	1,00	0,67	0,67	0,80
Erosión Hídrica	1,50	1,00	0,67	0,80
Uso de Suelo	1,50	1,50	1,00	0,67
Densidad Poblacional	1,25	1,25	1,50	1,00
SUMA	5,25	4,42	3,83	3,27
1/SUMA	0,19	0,23	0,26	0,31

MATRIZ DE NORMALIZACIÓN					
Parámetro Macro-Escala	Uso de Suelo	Densidad Poblacional	Geología	Erosión Hídrica	Vector de Priorización
Geología	0,19	0,15	0,17	0,24	0,19
Erosión Hídrica	0,29	0,23	0,17	0,24	0,23
Uso de Suelo	0,29	0,34	0,26	0,20	0,27
Densidad Poblacional	0,24	0,28	0,39	0,31	0,30

VECTOR SUMA PONDERADO				
Resultados de la operación de matrices				Vector Suma Ponderada
0,190	0,155	0,182	0,244	0,771
0,285	0,233	0,182	0,244	0,943
0,285	0,349	0,273	0,203	1,110
0,238	0,291	0,409	0,305	1,242

HALLANDO EL λmax	
vector suma Ponderado / Vector	
4,055	
4,053	
4,072	
4,077	
SUMA	16,256
PROMEDIO	4,064

INDICE DE CONSISTENCIA

RELACION DE CONSISTENCIA <= 0.1 (*)

IC	0,021	
RC	0,0242	Cumple

Porcentaje %
19,01
23,27
27,26
30,46

↑

PESO DE PORCENTAJE

Comparación de Pares de los Sub parámetros de Uso de Suelo - RC <0.1

MATRIZ DE COMPARACIÓN DE PARES							
Uso de Suelo	Urbano	Agricultura	Suelo Desnudo	Vegetación Inundada	Pastizal	Glaciar	Bosque
Urbano	1,00	0,50	1,50	1,75	2,00	2,50	3,00
Agricultura	2,00	1,00	1,75	2,00	2,50	2,75	3,00
Suelo Desnudo	0,67	0,57	1,00	1,50	1,75	2,00	2,50
Vegetación Inundada	0,57	0,50	0,67	1,00	1,75	2,00	2,75
Pastizal	0,50	0,40	0,57	0,57	1,00	2,00	3,00
Glaciar	0,40	0,36	0,50	0,50	0,50	1,00	1,25
Bosque	0,33	0,33	0,40	0,36	0,33	0,80	1,00
SUMA	5,47	3,67	6,39	7,69	9,83	13,05	16,50
1/SUMA	0,18	0,27	0,16	0,13	0,10	0,08	0,06

MATRIZ DE NORMALIZACIÓN								
Uso de Suelo	Urbano	Agricultura	Suelo Desnudo	Vegetación Inundada	Pastizal	Glaciar	Bosque	Vector de Priorización
Urbano	0,18	0,14	0,23	0,23	0,20	0,19	0,18	0,19
Agricultura	0,37	0,27	0,27	0,26	0,25	0,21	0,18	0,26
Suelo Desnudo	0,12	0,16	0,16	0,20	0,18	0,15	0,15	0,16
Vegetación Inundada	0,10	0,14	0,10	0,13	0,18	0,15	0,17	0,14
Pastizal	0,09	0,11	0,09	0,07	0,10	0,15	0,18	0,11
Glaciar	0,07	0,10	0,08	0,07	0,05	0,08	0,08	0,07
Bosque	0,06	0,09	0,06	0,05	0,03	0,06	0,06	0,06

100,00

Porcentaje %
19,41
25,99
15,89
13,90
11,44
7,41
5,96

PESO DE PORCENTAJE

VECTOR SUMA PONDERADO							
Resultados de la operación de matrices							Vector Suma Ponderada
0,194	0,130	0,238	0,243	0,229	0,185	0,179	1,399
0,388	0,260	0,278	0,278	0,286	0,204	0,179	1,873
0,129	0,148	0,159	0,209	0,200	0,148	0,149	1,143
0,111	0,130	0,106	0,139	0,200	0,148	0,164	0,998
0,097	0,104	0,091	0,079	0,114	0,148	0,179	0,813
0,078	0,094	0,079	0,070	0,057	0,074	0,075	0,527
0,065	0,087	0,064	0,051	0,038	0,059	0,060	0,422

HALLANDO EL λmax

Vector Suma Ponderado / Vector Priorización	
7,208	
7,207	
7,194	
7,181	
7,103	
7,110	
7,083	
SUMA	50,085
PROMEDIO	7,155

INDICE DE CONSISTENCIA

RELACION DE CONSISTENCIA <= 0.1 (*)

IC	0,026	
RC	0,019	Cumple

Comparación de Pares de los Sub parámetros de Geología - RC <0.1

MATRIZ DE COMPARACIÓN DE PARES			
Geología	Bajo	Medio	Alto
Bajo	1,00	0,67	0,50
Medio	1,50	1,00	0,50
Alto	2,00	2,00	1,00
SUMA	4,50	3,67	2,00
1/SUMA	0,22	0,27	0,50

MATRIZ DE NORMALIZACIÓN				
Geología	Bajo	Medio	Alto	Vector de Priorización
Bajo	0,22	0,18	0,25	0,22
Medio	0,33	0,27	0,25	0,29
Alto	0,44	0,55	0,50	0,50

Porcentaje %
21,80
28,54
49,66

PESO DE PORCENTAJE

VECTOR SUMA PONDERADO			
Resultados de la operación de matrices			Vector Suma Ponderada
0,218	0,190	0,248	0,657
0,327	0,285	0,248	0,861
0,436	0,571	0,497	1,503

HALLANDO EL λ_{max}

	Vector Suma Ponderado / Vector Priorización
	3,012
	3,016
	3,027
SUMA	9,055
PROMEDIO	3,018

INDICE DE CONSISTENCIA

RELACION DE CONSISTENCIA <= 0.1 (*)

IC	0,009	
RC	0,017	Cumple

Comparación de Pares de los Sub parámetros de Erosión Hídrica - RC <0.1

MATRIZ DE COMPARACIÓN DE PARES					
Erosión	E. Ligera	E. Moderada	E. Acusada	E. Alta	E. Muy Alta
E. Ligera	1,00	0,67	0,67	0,57	0,50
E. Moderada	1,50	1,00	0,57	0,57	0,50
E. Acusada	1,50	1,75	1,00	0,50	0,50
E. Alta	1,75	1,75	2,00	1,00	0,50
E. Muy Alta	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00
SUMA	7,75	7,17	6,24	4,64	3,00
1/SUMA	0,13	0,14	0,16	0,22	0,33

MATRIZ DE NORMALIZACIÓN						
Erosión	E. Ligera	E. Moderada	E. Acusada	E. Alta	E. Muy Alta	Vector de Priorización
E. Ligera	0,13	0,09	0,11	0,12	0,17	0,12
E. Moderada	0,19	0,14	0,09	0,12	0,17	0,14
E. Acusada	0,19	0,24	0,16	0,11	0,17	0,17
E. Alta	0,23	0,24	0,32	0,22	0,17	0,23
E. Muy Alta	0,26	0,28	0,32	0,43	0,33	0,32

Porcentaje %
12,37
14,29
17,45
23,45
32,44

PESO DE PORCENTAJE

VECTOR SUMA PONDERADO						
Resultados de la operación de matrices						Vector Suma Ponderada
0,124	0,095	0,116	0,134	0,162	0,632	0,632
0,186	0,143	0,100	0,134	0,162	0,724	0,724
0,186	0,250	0,174	0,117	0,162	0,890	0,890
0,217	0,250	0,349	0,235	0,162	1,212	1,212
0,247	0,286	0,349	0,469	0,324	1,676	1,676

HALLANDO EL λ_{max}

Vector Suma Ponderado / Vector Priorización	
5,104	
5,070	
5,098	
5,169	
5,166	
SUMA	25,607
PROMEDIO	5,121

INDICE DE CONSISTENCIA

RELACION DE CONSISTENCIA <= 0.1 (*)

IC	0,030	
RC	0,027	Cumple

Anexo B. INSTRUMENTOS

B-1 : Calidad de Agua

ENCUESTA DE COMPARACIÓN DE PARES DE LOS PARÁMETROS DE MACRO ESCALA QUE INFLUYEN EN LA CALIDAD DEL AGUA, EN LA INTERCUENCA ALTO HUALLAGA

La presente encuesta, está dirigida a **especialistas en calidad del agua de la Autoridad Nacional de la intercuenca Alto Huallaga**, la misma que tiene por finalidad valorar su percepción mediante la comparación de pares de **los parámetros de macro-escala (variables geospaciales: Uso de Suelo, Densidad Poblacional, Geología y Erosión Hídrica)** que influyen en la **calidad del agua (ICARHS y parámetros de calidad del agua)**.

Contexto

La intercuenca Alto Huallaga inicia en la zona altoandina del departamento de Pasco, en los lagos de Raracocho y Taulicocho el cual escurre en dirección norte hasta la provincia de Tocache en el departamento de San Martín.

Indicaciones Generales

- Realice la **comparación de pares**, de los criterios establecidos de acuerdo a su nivel de importancia sobre la afectación negativa a la calidad del agua, en base a su experiencia profesional.
- Marque **solo una opción** dentro del recuadro, de la comparación de criterios que usted considere pertinente, tal como se observa en el siguiente ejemplo.

Ejemplo

CRITERIO	NIVEL DE IMPORTANCIA											CRITERIO
	5	4	3	2	1	IGUAL	1	2	3	4	5	
Criterio A				X								Criterio B
Criterio B					X							Criterio C
Criterio C						X						Criterio A

1. Comparación de pares de los Parámetros de Macro Escala (PME) que influyen en la calidad del agua superficial.

CRITERIO	NIVEL DE IMPORTANCIA											CRITERIO
	5	4	3	2	1	IGUAL	1	2	3	4	5	
Uso de Suelo												Densidad Poblacional
Uso de Suelo												Geología
Uso de Suelo												Erosión Hídrica
Densidad Poblacional												Geología
Densidad Poblacional												Erosión Hídrica
Geología												Erosión Hídrica

2. Comparación de pares de las Sub categorías de Uso de Suelo que influyen en la Calidad del Agua.

CRITERIO	NIVEL DE IMPORTANCIA									CRITERIO
	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
Urbano										Agricultura
Urbano										Suelo Desnudo
Urbano										Vegetación Inundada
Urbano										Pastizal
Urbano										Glaciar
Urbano										Bosque
Agricultura										Suelo Desnudo
Agricultura										Vegetación Inundada
Agricultura										Pastizal
Agricultura										Glaciar
Agricultura										Bosque
Suelo Desnudo										Vegetación Inundada
Suelo Desnudo										Pastizal
Suelo Desnudo										Glaciar
Suelo Desnudo										Bosque
Vegetación Inundada										Pastizal
Vegetación Inundada										Glaciar
Vegetación Inundada										Bosque
Pastizal										Glaciar
Pastizal										Bosque
Glaciar										Bosque

Las subcategorías de usos de suelos fueron determinados en función a la reclasificación de imágenes satelitales en el periodo 2018-2021 para la intercuenca alto Huallaga.

3. Comparación de pares de las Sub categorías Geología que influyen en la Calidad del Agua.

CRITERIO	NIVEL DE IMPORTANCIA									CRITERIO
	5	4	3	2	1	1	2	3	4	
Aporte Geoquímico Bajo										Aporte Geoquímico Medio
Aporte Geoquímico Bajo										Aporte Geoquímico Alto
Aporte Geoquímico Medio										Aporte Geoquímico Alto

Las subcategorías de nivel de aporte geoquímico, corresponde al nivel de aporte iónico y/o sustratos al agua, que influyen en la calidad del agua.

4. Comparación de pares de las Sub Categorías del PME Erosión Hídrica que influyen en la Calidad del Agua

CRITERIO	NIVEL DE IMPORTANCIA											CRITERIO
	5	4	3	2	1	IGUAL	1	2	3	4	5	
E. Ligera (<10)												E. Moderada (11-50)
E. Ligera (<10)												E. Acusada (51-100)
E. Ligera (<10)												E. Alta (101-200)
E. Ligera (<10)												E. Muy Alta (>200)
E. Moderada (11-50)												E. Acusada (51-100)
E. Moderada (11-50)												E. Alta (101-200)
E. Moderada (11-50)												E. Muy Alta (>200)
E. Acusada (51-100)												E. Alta (101-200)
E. Acusada (51-100)												E. Muy Alta (>200)
E. Alta (101-200)												E. Muy Alta (>200)

Las subcategorías de nivel de Erosión, corresponde al nivel erosión hídrica en Tn/Ha-Año, que influyen en la calidad del agua.

Opiniones

Link del Documento Word para editar

<https://acortar.link/tiD6oL>

Datos de Contacto

Tesista : Bernabe Luwy Leonardo Guzman Huaranga
 Cel. : 9216881610
 Email : luwy.guzman@unas.edu.pe
 Dirección : Tingo María, Perú

Atentamente,

Apellidos y Nombres :
 N° DNI :
 Institución :

B-2 : Geología (Aporte Geoquímico)**ENCUESTA DE VALORACIÓN DE APORTE GEOQUÍMICO DE LAS UNIDADES GEOLÓGICAS DE LA INTERCUENCA ALTO HUALLAGA A LA CALIDAD DEL AGUA**

La presente encuesta, está dirigida a especialistas en geología y/o hidrogeología, cuya finalidad es valorar subjetivamente el **nivel de aporte geoquímico** de las diferentes unidades geológicas (70 unidades en la intercuenca Alto Huallaga) sobre la **calidad del agua**, en la escala de Likert del 1 al 5, que va desde Muy Bajo (1), Bajo (2), Medio (3), y Alto (4) y Muy Alto (5).

Indicaciones Generales

Se recomienda revisar los enlaces adjuntos de la pág. 3 para completar la encuesta (Opcional).

Marque con una X dentro del Recuadro que considere pertinente (sólo una opción).

N°	Unidad Geológica	Aporte Geoquímico				
		1	2	3	4	5
1	Andesita, basalto					
2	Andesita, dacita					
3	Atacocha - monzogabro					
4	Cayash - diorita					
5	Complejo del Marañón - esquisto					
6	Complejo del Marañón - esquisto, gneis					
7	Complejo del Marañón - gneis					
8	Complejo del Marañón - pizarra, cuarcita, filita					
9	Dacita porfídica					
10	Depósito aluvial					
11	Depósito glaciar					
12	Depósito glaciar, fluvial					
13	Diorita					
14	Diorita, granodiorita					
15	Domo - sal					
16	Dunita					
17	Formación Agua Caliente					
18	Formación Aramachay					
19	Formación Casapalca					
20	Formación Celendín					
21	Formación Chambará					
22	Formación Chonta					
23	Formación Chota					
24	Formación Chúlec					
25	Formación Chúlec, Pariatambo					

N°	Unidad Geológica	Aporte Geoquímico				
		1	2	3	4	5
26	Formación Chunqui					
27	Formación Condorsinga					
28	Formación Contaya					
29	Formación Cushabatay					
30	Formación El Valle					
31	Formación Esperanza					
32	Formación Gollgay					
33	Formación Huarón					
34	Formación Ipururo					
35	Formación Jumasha					
36	Formación Lavasén					
37	Formación Pariatambo					
38	Formación Pozo					
39	Formación Rumillana					
40	Formación Sarayaquillo					
41	Formación Tocache					
42	Formación Tulumayo					
43	Formación Uchiza					
44	Formación Vivian					
45	Formación Yahuarango					
46	Gabro, dunita					
47	Gabro, tonalita, granodiorita					
48	Granito gneisificado					
49	Granito, granodiorita					
50	Granodiorita, monzogranito					
51	Grupo Ambo					
52	Grupo Calipuy					
53	Grupo Copacabana					
54	Grupo Excelsior					
55	Grupo Goyllarisquizga					
56	Grupo Mitu					
57	Grupo Oriente					
58	Grupo Pucará					

N°	Unidad Geológica	Aporte Geoquímico				
		1	2	3	4	5
59	Grupo Tarma, Copacabana					
60	Metal Palina - granito, tonalita					
61	Paucartambo - granito					
62	Peridotita					
63	Pluton Cachicoto					
64	Plutón Cerro Campana - granodiorita, tonalita					
65	Plutón Cocalita San Antonio - granodiorita, tonalita					
66	Plutón Pampa Hermosa - granito					
67	Pórfido cuarífero					
68	Pórfido riolítico					
69	Riodacita					
70	Tonalita, granodiorita					

Opiniones

Enlace de la Tabla con descripción geológica y metalogenética según INGEMMET

<https://acortar.link/lqugdm>

Enlace de los mapas: geológico, metalogenético e intersección de ambos

<https://acortar.link/SI9KGt>

Enlace del recurso geoespacial en KML

<https://acortar.link/xDCZuJ>

Datos de Contacto

Tesista : Bernabe Luwy Leonardo Guzman Huaranga

Cel : 9216881610

Email : luwy.guzman@unas.edu.pe

Dirección : Tingo María, Perú

Atentamente,

Apellidos y Nombres :

N° DNI :

Institución :

Anexo C. MEDIOS PROBATORIOS DE LA INVESTIGACIÓN



PERÚ

Ministerio
de Energía y Minas

Instituto Geológico, Minero y
Metalúrgico - INGEMMET

' Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres '
"Año de la unidad, la paz y el desarrollo"

25 de julio de 2023

Carta N° 0305-2023-INGEMMET/GG-OAJ-SAIP

Sr.
BERNABE LUWY LEONARDO GUZMAN HUARANGA

luwy.guzman@unas.edu.pe

Asunto : Solicitud de Acceso a la Información Pública SAIP N° 771639

Referencia : SAIP N° 771639

Es grato dirigirme a usted, en atención a la Solicitud de Acceso a la Información Pública N° 771639, cuya pretensión es la siguiente:

“SOLICITO INFORMACIÓN DIGITAL DE LOS MAPAS DE GEOLOGÍA LOCAL Y/O REGIONAL CON SUS RESPECTIVAS DESCRIPCIONES, EN LOS DEPARTAMENTOS DE PASCO, HUÁNUCO Y SAN MARTÍN EN EL PERIODO 2000-2022, PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN RELACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE MACRO-ESCALA Y LA CALIDAD DEL AGUA EN LA INTERCUENCA ALTO HUALLAGA; 2014-2022 EL CUAL FUE APROBADO POR LA FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA MEDIANTE RESOLUCIÓN N 362-2023-D-FRNR-UNAS”.


Sobre el particular, se remite a usted el Memorando N° 0332-2023-INGEMMET/DGR, de la Dirección de Geología Regional y el Memorando N° 0542-2023-INGEMMET/GG-OSI, de la Oficina de Sistemas de la Información de esta Entidad, con su respectivo anexo, dando por atendido lo solicitado.

Sin otro particular, me despido de usted.

Atentamente,

Documento firmado digitalmente

Abog. Blanca Elena Medianero Burga
Responsable de la Atención de Solicitudes de
Acceso a la Información Pública
INGEMMET



Firmado digitalmente por
 MEDIANERO_BURGA Blanca
 Elena FAU 20112919377 soft
 Empresa: Instituto
 Geológico, Minero y
 Metalúrgico
 Motivo: Firma del documento
 Fecha: 2023/07/25
 11:44:51-0500



Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S 026-2016-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través de la siguiente dirección web:
 Url: <https://srvstd.ingemmet.gob.pe/BuscaTuDocumento> e ingresando la siguiente clave :
6OPDHJZI



Figura 35. Respuesta del INGEMMET sobre la información geológica de la ICAH

Memorando N° 0332-2023-INGEMMET/DGR

A : BLANCA ELENA MEDIANERO BURGA
 Encargada de las Solicitudes de Acceso a la Información Pública

Asunto : Solicitud de Acceso a la Información Pública SAIP N° 771639

Referencia : a) Memorando Múltiple N° 0035-2023-INGEMMET/GG-OAJ-SAIP
 b) SAIP N° 771639

Fecha : 21 de julio de 2023

Tengo el agrado de dirigirme a usted, en atención al asunto y documentos de la referencia, mediante el cual su Despacho remite la Solicitud de Acceso a la Información Pública N° 771639, presentado por el Sr. Bernabe Luwy Leonardo Guzman Huaranga, quien solicita lo siguiente:

“Información digital de los mapas de geología local y/o regional con sus respectivas descripciones, en los departamentos de Pasco, Huánuco y San Martín en el periodo 2000-2022, para el desarrollo del proyecto de investigación relación de los parámetros de macro-escala y la calidad del agua en la Intercuenca Alto Huallaga; 2014-2022, el cual fue aprobado por la facultad de recursos naturales renovables de la Universidad Nacional Agraria de la Selva mediante Resolución N° 362-2023-D-FRNR-UNAS.”.

En atención a lo solicitado, se remite los mapas geológicos de las regiones de Pasco, Huánuco y San Martín, que contienen las capas de geología (fallas, pliegues y unidades litoestratigráficas), en formato Shapefile, y MXD, a escala 1:250, 000, las mismas que podrán ser descargados a través del siguiente enlace: <https://we.tl/t-YAIC3zrx5g>.

Lo que comunico a vuestro Despacho para conocimiento y atención que corresponda.

Atentamente,

Documento firmado digitalmente

ING. CÉSAR AUGUSTO CHACALTANA BUDIEL
 Director de Geología Regional
 INGEMMET



Firmado digitalmente por
 CHACALTANA BUDIEL Cesar Augusto
 FAU 20112915377 soft
 Empresa: Instituto Geológico, Minero y
 Metalúrgico
 Motivo: Firma del documento
 Fecha: 2023/07/21 15:39:02-0500

CCHB/jmr




BICENTENARIO
 DEL PERÚ
 2021 - 2024

Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S 026-2016-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través de la siguiente dirección web:
 Url:<https://srvstd.ingemmet.gob.pe/BuscaTuDocumento> e ingresando la siguiente clave :
 LZXN1AX1




Figura 36. Respuesta técnica del INGEMMET con el link de descarga de información



PERÚ

Presidencia
del Consejo de Ministros

Instituto Nacional de
Estadística e Informática



Directora Técnica
DTDIS

Firmado digitalmente por GUTIERREZ
ESPINO Cirila FAU 20131369961 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 26.07.2023 17:58:34 -05:00

"Decenio de la Igualdad de oportunidades para mujeres y hombres"
"Año de la unidad, la paz y el desarrollo"

Lima, 26 de Julio del 2023

OFICIO N° 000574-2023-INEI/DTDIS

Señor
BERNABE LUWY LOONARDO GUZMÁN HUARANGA
Presente

Asunto : Remite información demográfica

Ref. : Carta N° 02-2023-LGH-TESSISTA/UNAS Reg. 9202

Tengo el agrado de dirigirme a usted para saludarlo cordialmente y, en respuesta al documento de la referencia, adjunto se hace llegar información demográfica disponible en archivo Excel, según detalle:

- Población total proyectada de los departamentos de Huánuco, Pasco y San Martín, según provincia y distrito, 2018-2022.
- Población censada de los departamentos de Huánuco, Pasco y San Martín, según provincia, distrito y centro poblado, 2017.


Sin otro particular, hago propicia la oportunidad para expresar a usted las muestras de mi especial consideración y estima personal.

Atentamente,

FIRMA ORIGINAL DIGITAL POR:

CIRILA GUTIÉRREZ ESPINO
Directora Técnica
Dirección Técnica de Demografía e Indicadores Sociales
INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA

cc:
(CGE/mt)



Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado por el Instituto Nacional de Estadística e Informática, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026- 2016-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través de la siguiente dirección web: <https://sgd.inei.gov.pe/verifica/inicio.do> e ingresando el siguiente código de verificación: **JEKFEGG**




Figura 37. Respuesta del INEI de Información demográfica para el área de estudio ICAH



Firmado digitalmente por:
 ESCALANTE DEL ALAMO
 Irania FAU 20492908058 hard
 Motivo: Soy el autor del documento
 Fecha: 07/07/2022 12:02:56-0500

“Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres”
 “Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional”
 “Año del Bicentenario del Congreso de la República del Perú”

Lima, 07 de Julio de 2022

CARTA N° 461-2022-MINAM/SG/OGDAC

Señor (a):
GUZMÁN HUARANGA BERNABÉ LUWY LEONARDO
 luwy.guzman@unas.edu.pe

Presente.

Asunto : Solicita información pública
 Referencia : Solicitud de información con Registro: 2022038236

Tengo a bien dirigirme a usted en relación al documento de la referencia, a través del cual remite su solicitud de información pública referida a: **“MAPA NACIONAL DE COBERTURA VEGETAL ACTUALIZADA”**.

Al respecto, es oportuno precisar, que de acuerdo al artículo 10 del Texto Único Ordenado de la Ley N° 27806, Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública, aprobado mediante Decreto Supremo N° 021-2019-JUS, las entidades de la Administración Pública tienen la obligación de proveer la información requerida si se refiere a la contenida en documentos escritos, fotografías, grabaciones, soporte magnético o digital, o en cualquier otro formato, siempre que haya sido creada u obtenida por ella o que se encuentre en su posesión o bajo su control.

Sobre el particular, la Dirección General de Ordenamiento Territorial y de la Gestión Integrada de los Recursos Naturales del Ministerio del Ambiente mediante HOJA DE ENVÍO N° 021-2022-MINAM/VMDERN/DGOTGIRN/DIOTGIRN remite la información solicitada.

Es propicia la ocasión para expresarle los sentimientos de mi especial consideración y estima personal.

Atentamente
Firmado Digitalmente
Irania Escalante Del Álamo
 Responsable de Transparencia y Acceso a la Información Pública
 Directora de la Oficina de Gestión Documental y Atención a la Ciudadanía

Número del Expediente: 2022038236

Esta es una copia auténtica imprimible de un documento archivado en el Ministerio del Ambiente, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 del D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026-2016-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través de la siguiente web: <https://ecodoc.minam.gob.pe/verifica/view> e ingresando la siguiente clave: **3fe884**

Central Telefónica: 611-6000
www.gob.pe/minam





Figura 38. Respuesta del MINAM de Información de Cobertura para el área de estudio ICAH





	PERÚ	Ministerio del Ambiente	Viceministerio de Desarrollo Estratégico de los Recursos Naturales	Dirección General de Ordenamiento Territorial y de la Gestión Integrada de los Recursos Naturales						
"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres" "Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional"										
DIRECCIÓN GENERAL DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y DE LA GESTIÓN INTEGRADA DE LOS RECURSOS NATURALES										
HOJA DE ENVÍO N° 021-2022- MINAM/VMDERN/DGOTGIRN/DIOTGIRN			<table border="1"> <tr> <th>DÍA</th> <th>MES</th> <th>AÑO</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">7</td> <td style="text-align: center;">7</td> <td style="text-align: center;">2022</td> </tr> </table>	DÍA	MES	AÑO	7	7	2022	
DÍA	MES	AÑO								
7	7	2022								
REGISTRO: 2022033515										
ASUNTO:										
SOLICITA MAPA NACIONAL DE COBERTURA VEGETAL ACTUALIZADA										
REFERENCIA: \${referencias}										
DEPENDENCIA DESTINO	TRÁMITE	PRIORIDAD	INDICACIONES							
Oficina General de Gestión Documental y Atención a la Ciudadanía	\${acciones}	Urgente	<p>Recibida la Solicitud de acceso a la información pública, se precisa que la información disponible del Mapa de Cobertura Vegetal data del 2015.</p> <p>Se remite el enlace de acceso:</p> <p>https://geoservidor.minam.gob.pe/recursos/intercam-bio-de-datos/</p> <p>Detalle de la información:</p> <p>Mapa Nacional de Cobertura Vegetal</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Memoria descriptiva ✓ Mapa Nacional de Cobertura Vegetal en versión <i>pdf</i> ✓ Información geoespacial (formato <i>shapefile</i>) <p>Cita:</p> <p>Mapa de Cobertura Vegetal, a escala 1/100,000, 2015.</p> <p><small>Al amparo del artículo 13 del Texto Único Ordenado de la Ley N° 27806, Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública, aprobado por Decreto Supremo N° 021-2019-JUS: La solicitud de información no implica la obligación de las entidades de la Administración Pública de crear o producir información con la que no cuente o no tenga obligación de contar al momento de efectuarse el pedido.</small></p>							
Dirección de Instrumentos para el Ordenamiento Territorial y la Gestión Integrada de los Recursos Naturales										
Central Telefónica: 611-6000 www.minam.gob.pe										
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: center;">  </td> <td> Firmado digitalmente por: RISCHWÖLLER YUPANQUI Ursula FAU 20482060658 soft Motivo: Soy el autor del documento Fecha: 07/07/2022 10:08:25-0500 </td> </tr> </table>						Firmado digitalmente por: RISCHWÖLLER YUPANQUI Ursula FAU 20482060658 soft Motivo: Soy el autor del documento Fecha: 07/07/2022 10:08:25-0500				
	Firmado digitalmente por: RISCHWÖLLER YUPANQUI Ursula FAU 20482060658 soft Motivo: Soy el autor del documento Fecha: 07/07/2022 10:08:25-0500									

Figura 39. Respuesta del MINAM con el link de acceso a Información de Cobertura del 2014 para el área de estudio ICAH.



Firmado digitalmente por
HUAMANCHUMO UCAÑAY Jaime
Paco FAU 20520711869 hard
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 11/08/2023

“Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres”
“Año de la unidad, la paz y el desarrollo”

CUT: 137993-2023

Tarapoto, 11 de agosto de 2023

CARTA N° 0452-2023-ANA-AAA.H

Señor
Bernabe Luwy Leonardo Guzman Huaranga
Ca 06 de Agosto S/N, Tingo María
Rupa-Rupa.-

Asunto : Atención a solicitud de información

Referencia : CARTA 01-2023-LGH-TESISTA/UNAS

Tengo el agrado de dirigirme a usted en atención a documento de la referencia, mediante el cual solicita información de los resultados de los Monitoreos de Calidad del Agua Superficial en el ámbito de la Cuenca del río Huallaga, del período 2014-2022 y la relación de los parámetros de macro-escala y la calidad del agua en la Intercuenca Alto Huallaga; 2014-2022.

Al respecto, se remite copia del Informe Técnico N° 0064-2023-ANA-AAA.H/JCOL, donde se detalla la respuesta a su solicitud.

Es propicia la ocasión para expresarle mi consideración.

Atentamente,

FIRMADO DIGITALMENTE

JAIME PACO HUAMANCHUMO UCAÑAY
DIRECTOR
AUTORIDAD ADMINISTRATIVA DEL AGUA – HUALLAGA

JPHU/kgm

Jr. Augusto B. Leguía 1248-
Tarapoto - San Martín
T: 042-341532
www.gob.pe/ana
www.gob.pe/midagri

Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado de ANA, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S 026-2016-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través de: <http://sigsed.ana.gob.pe/consultas> e ingresando la siguiente clave : CE2C8C20



Figura 40. Respuesta oficial de la AAA-Huallaga sobre la solicitud de información.

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

BERNABE LUWY LEONARDO GUZMAN HUARANGA, por el presente tengo a bien informarle que su documento ha sido ingresado a nuestra Ventanilla Virtual del INGEMMET con correlativo N° 206413.

INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO
AV. CAJADÁ 1470, SAN BORJA - LIMA 41, PERÚ
RECIBIDO
LA RECEPCIÓN DE ESTE DOCUMENTO NO SIGNIFICA LA CONFORMIDAD DEL MISMO

Tipo Documento : Carta
Nro Documento : 01
Asunto : Solicito Validación de instrumento por personal en geología
Referencia : -
Fecha de recepción : 28/03/2025 13:10:01
Destino : PRESIDENCIA EJECUTIVA
Observación : Registrado en el Sistema de Gestión Documental con Expediente N°2025- 0003509-PE

Figura 42. Registro de solicitud en INGEMMET.

Estimado Sr (a) BERNABE LUWY LEONARDO GUZMAN HUARANGA:

Le comunicamos que su trámite ha sido registrado satisfactoriamente con el Nro. N.º 0047552-2025 de expediente, el día 28/03/2025, a las 12:18:41 horas.

Para realizar el seguimiento de su expediente ingrese al siguiente enlace:

<https://sgduni.uni.edu.pe/portal-Web/>

Consignando el año y número de expediente:
Año: 2025
Número de expediente: 0047552

Tenga en cuenta que los documentos presentados entre las 00:00 horas y las 17:00 horas de un día hábil, se consideran presentados en el mismo día hábil. La presentación de documentos realizados entre las 17:01 horas hasta las 23:59 horas de un día hábil se consideran presentados el día y hora hábil siguiente.

Los documentos presentados los sábados, domingos y feriados o cualquier otro día inhábil, se consideran presentados el primer día hábil siguiente, según lo dispuesto por la Ley 27444 - Ley del Procedimiento Administrativo General.

NOTA IMPORTANTE:

El expediente presentado se sujeta a la verificación y eventual observación de los requisitos procedimentales, conforme a lo establecido en los artículos 124 y 136 del Texto Único Ordenado de la Ley N° 27444, Ley del Procedimiento Administrativo General.

Atentamente, Universidad Nacional de Ingeniería

Figura 43. Registro de solicitud en la Universidad Nacional de Ingeniería.

Anexo D. MAPAS TEMÁTICOS

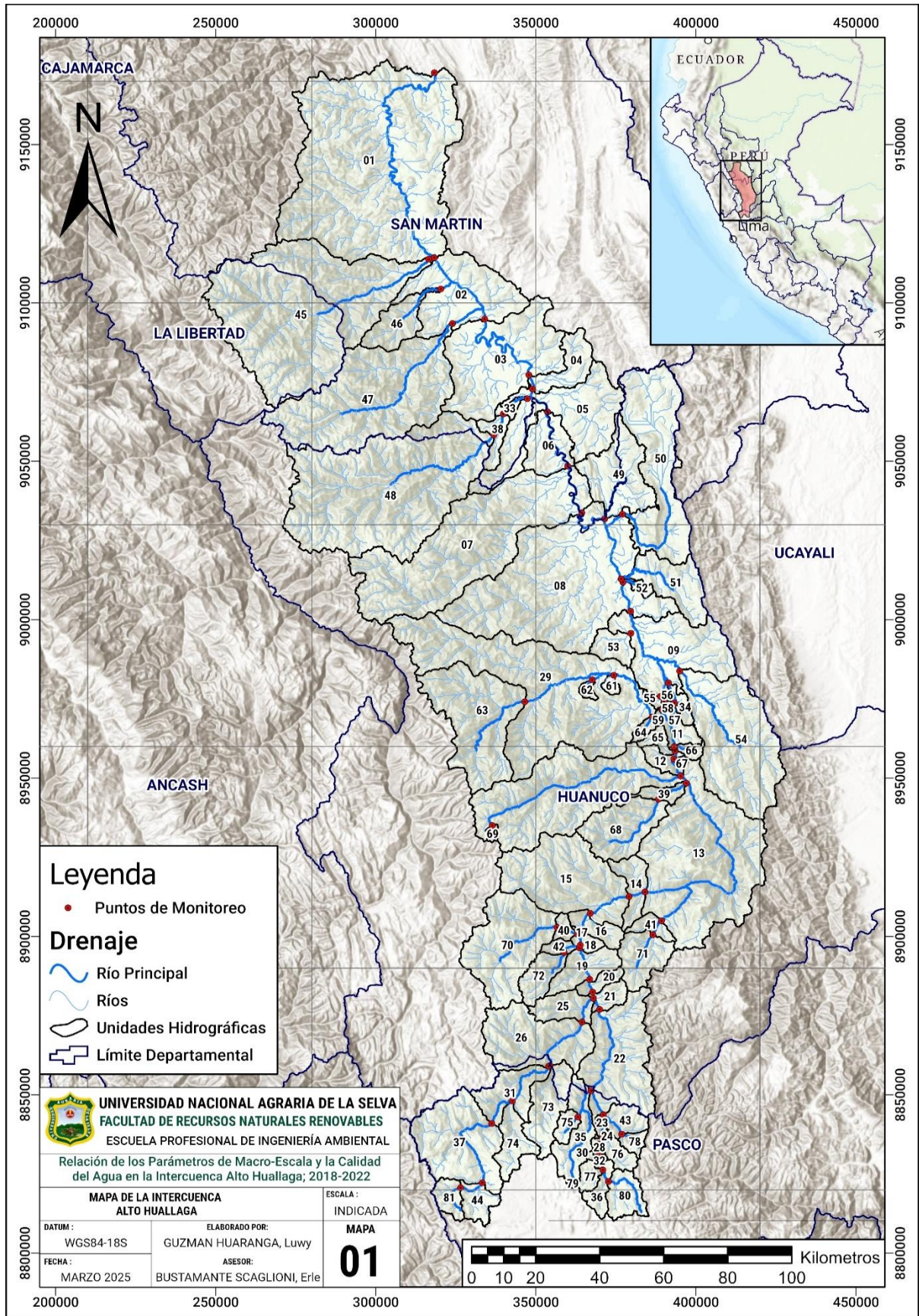


Figura 44. Mapa base de la investigación de la ICAH con los puntos de monitoreo y S-UHs.

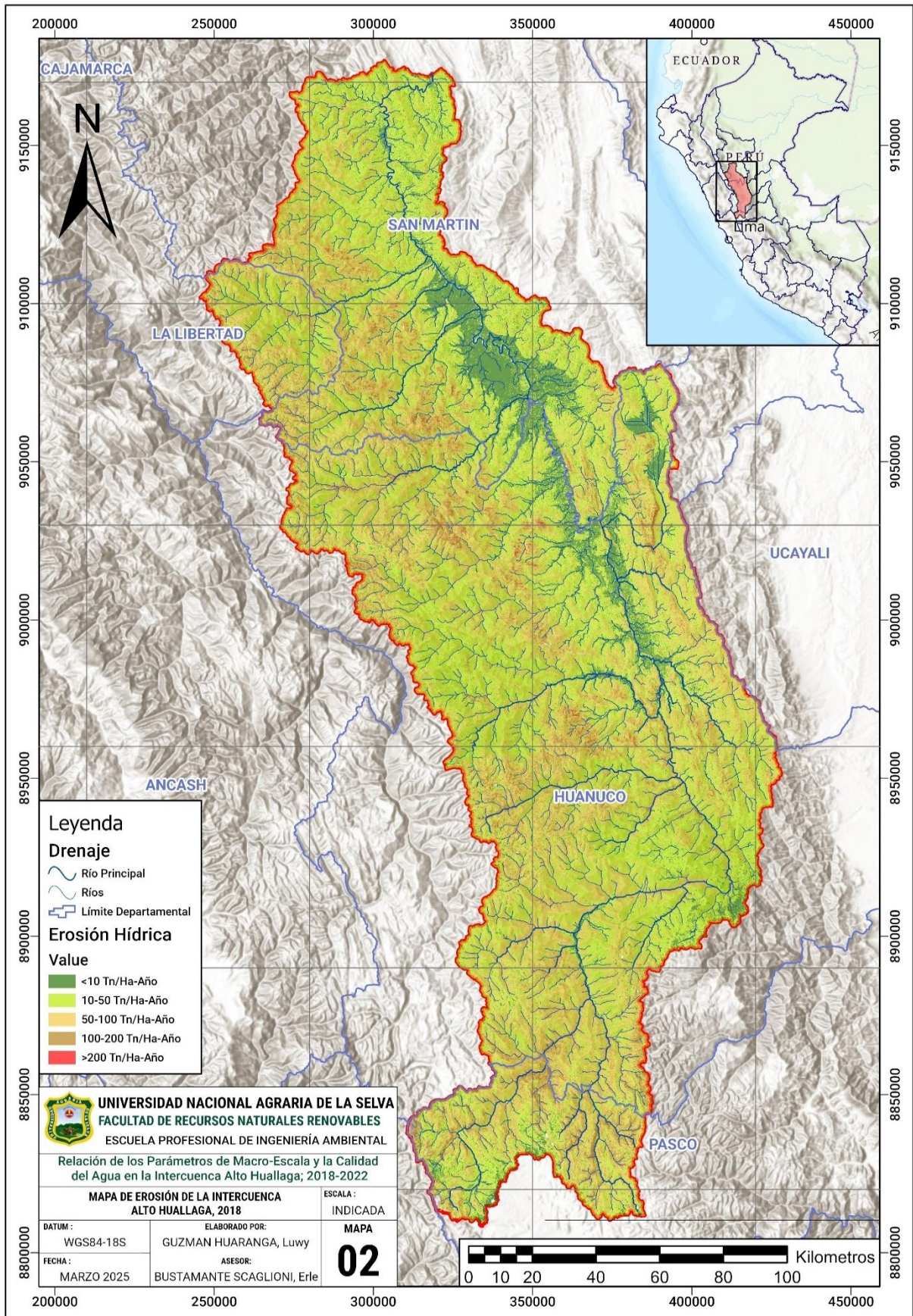


Figura 45. Erosión hídrica de la ICAH para el año 2018.

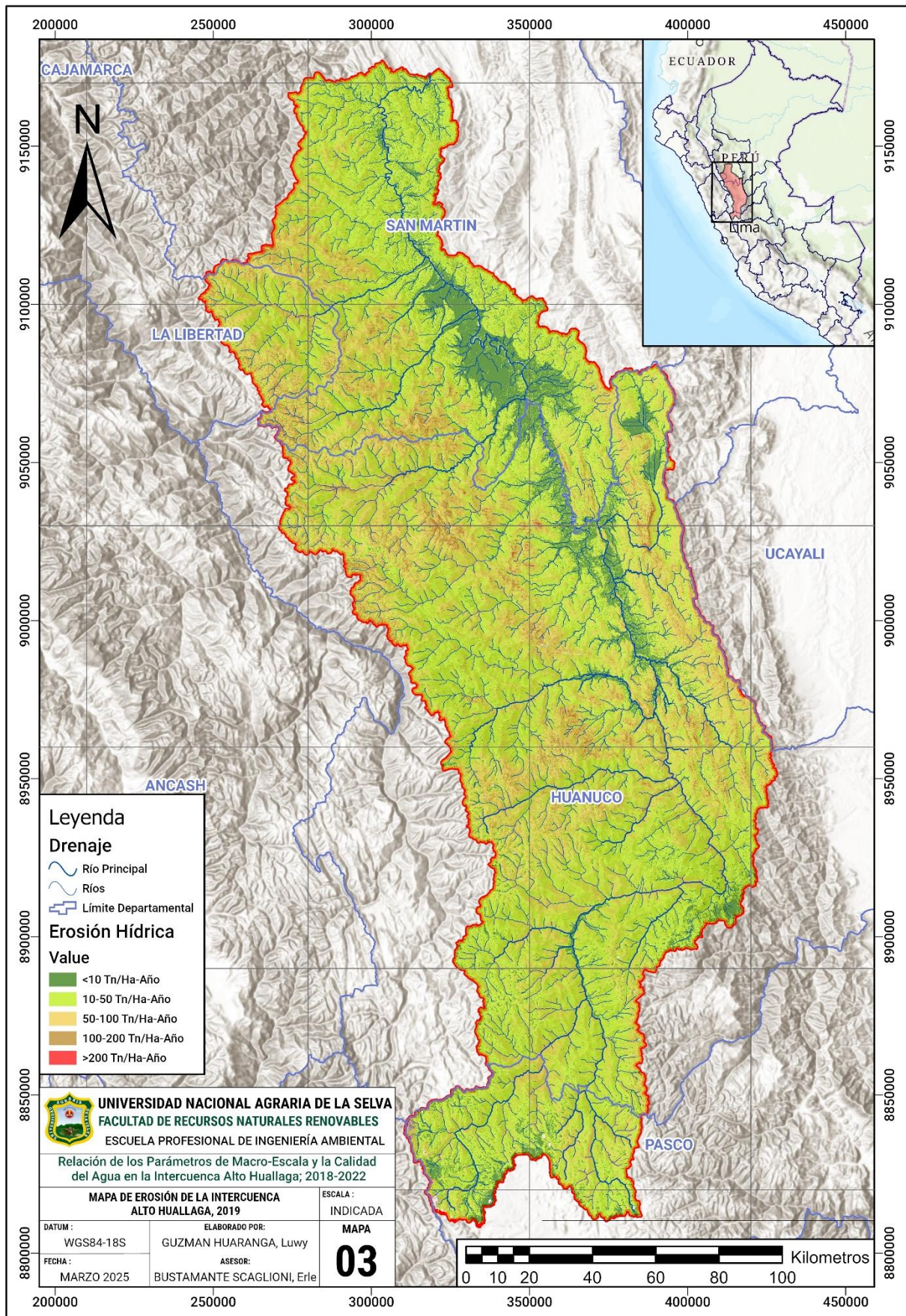


Figura 46. Erosión hídrica de la ICAH para el año 2019.

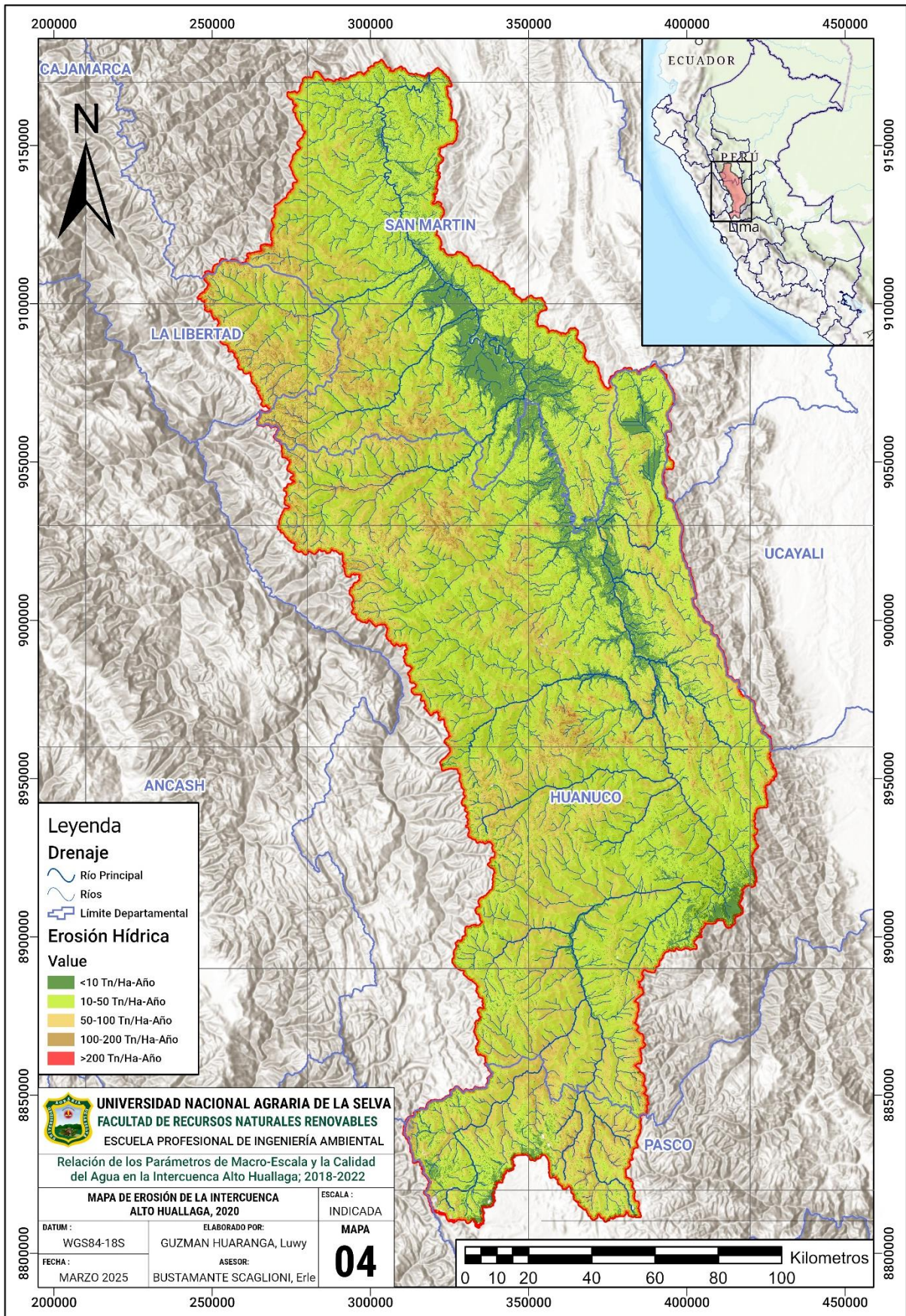


Figura 47. Erosión hídrica de la ICAH para el año 2020.

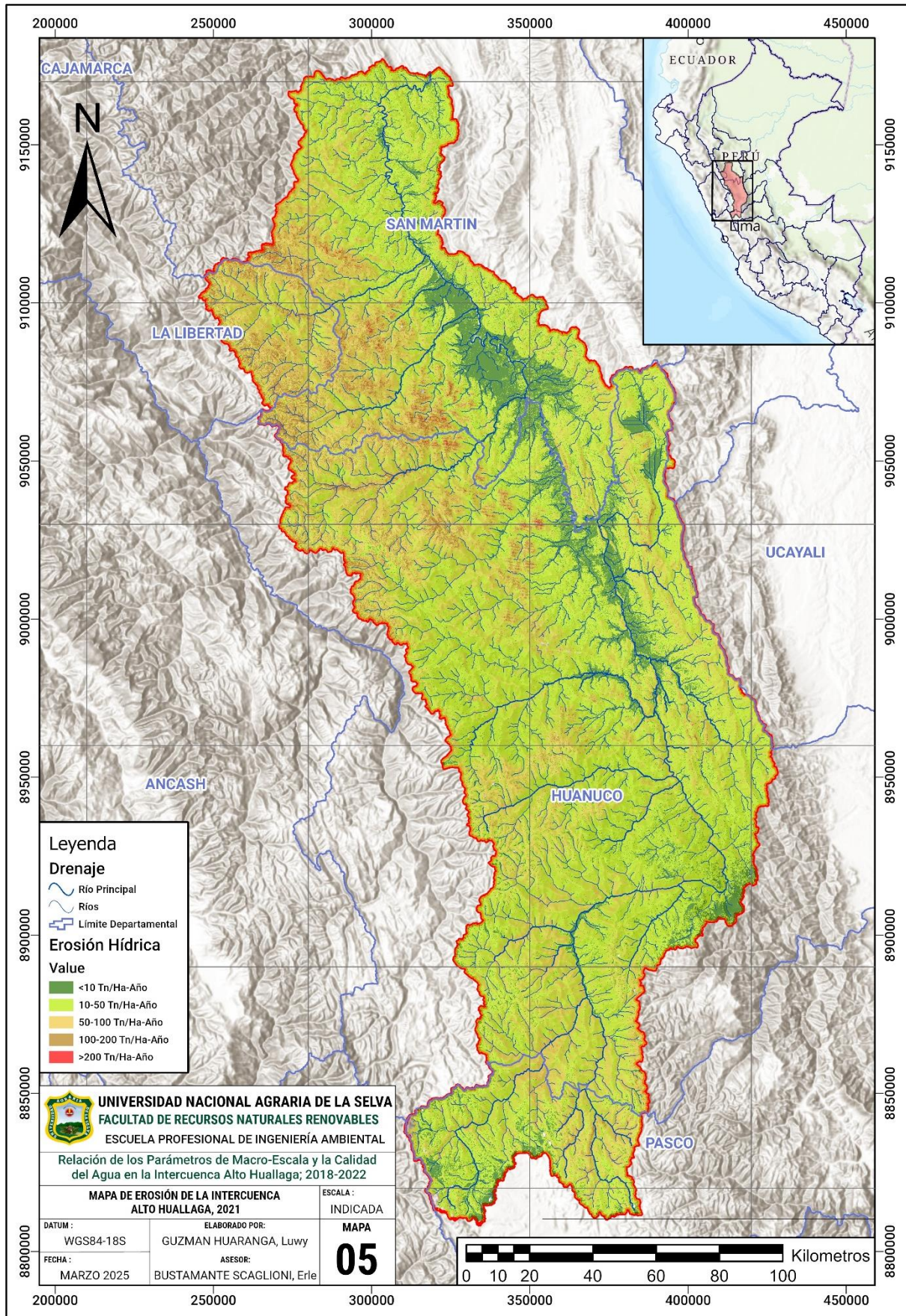


Figura 48. Erosión hídrica de la ICAH para el año 2021.

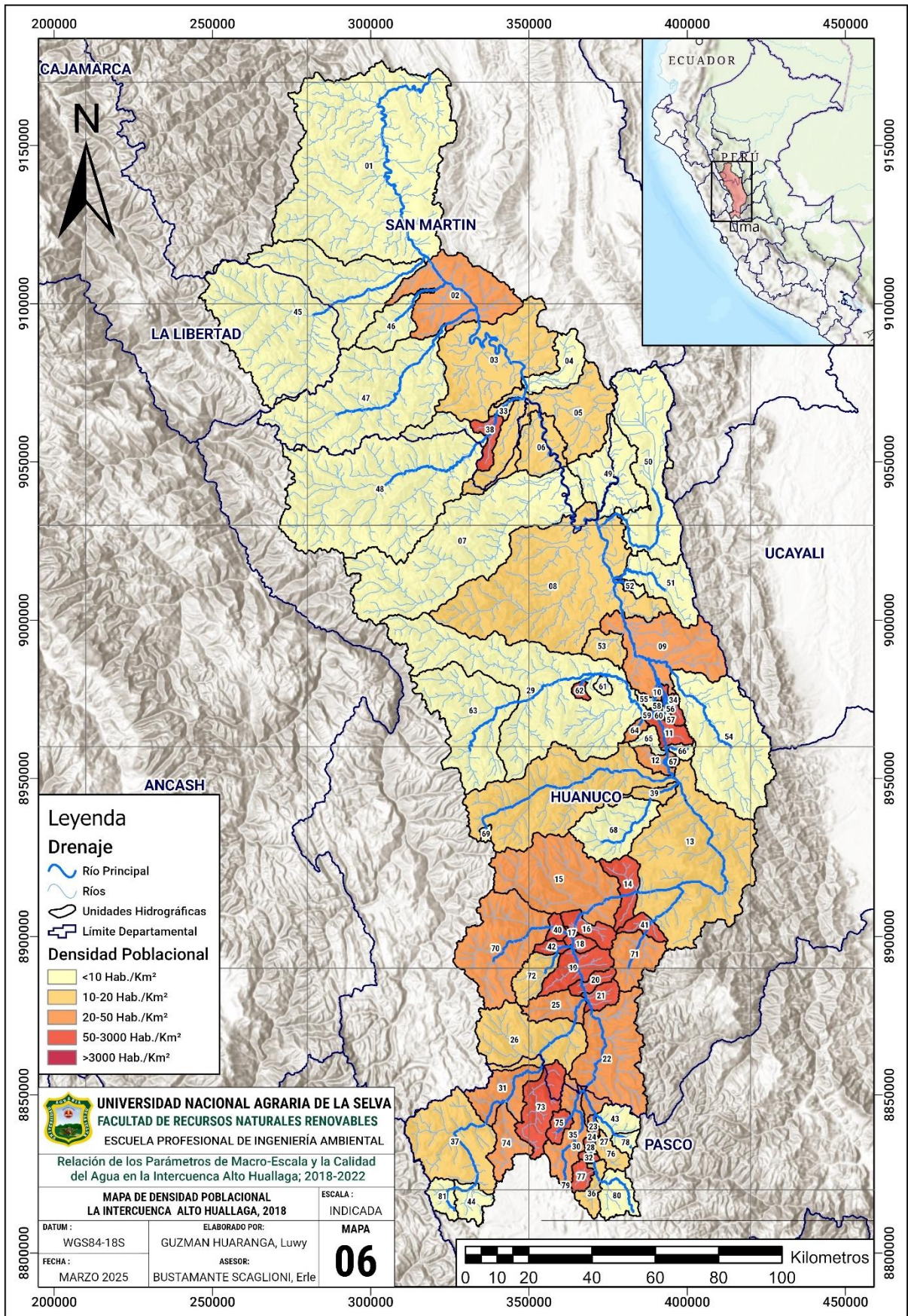


Figura 49. Densidad Poblacional por S-UH de la ICAH para el año 2018.

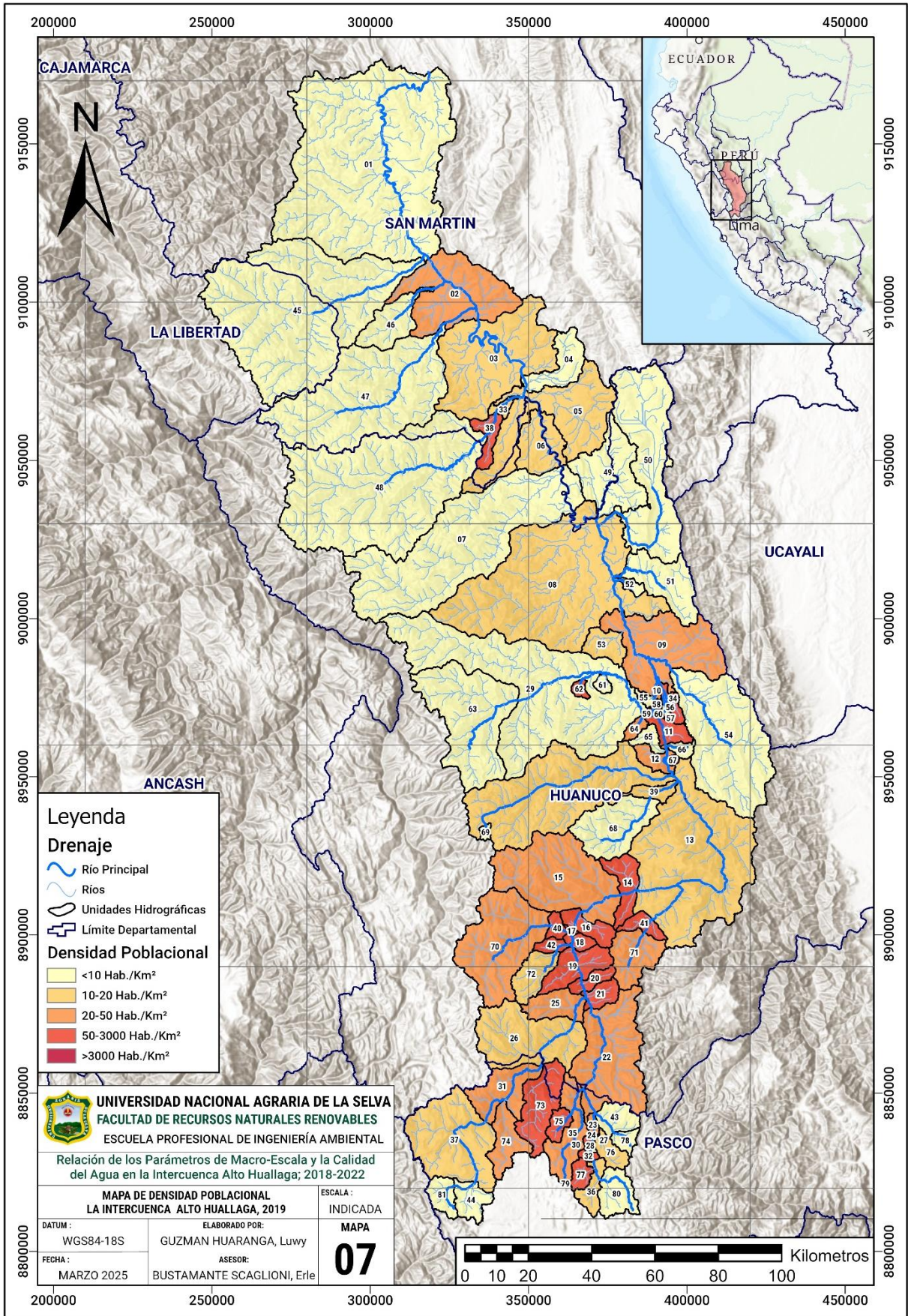


Figura 50. Densidad Poblacional por S-UH de la ICAH para el año 2019.

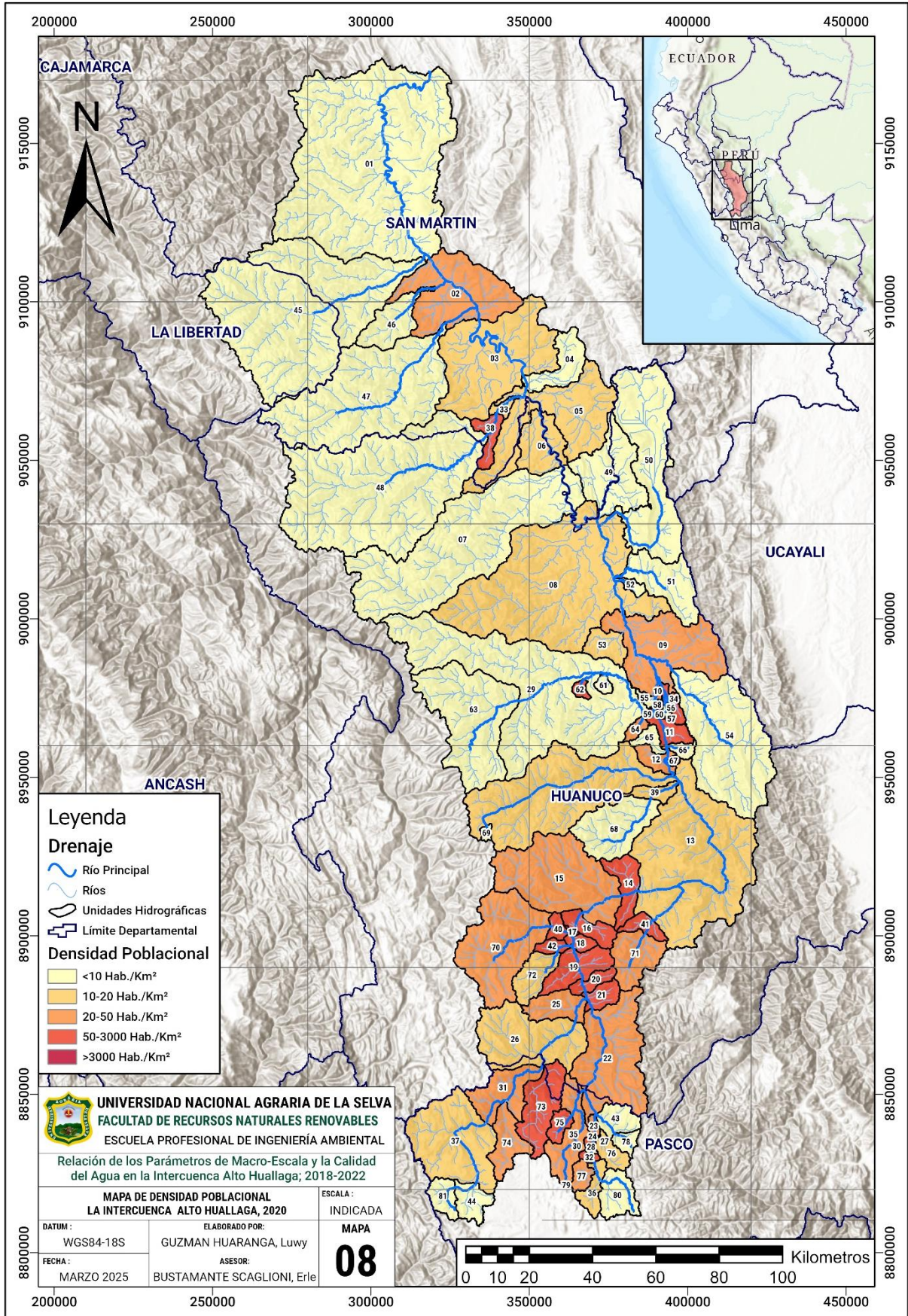


Figura 51. Densidad Poblacional por S-UH de la ICAH para el año 2020.

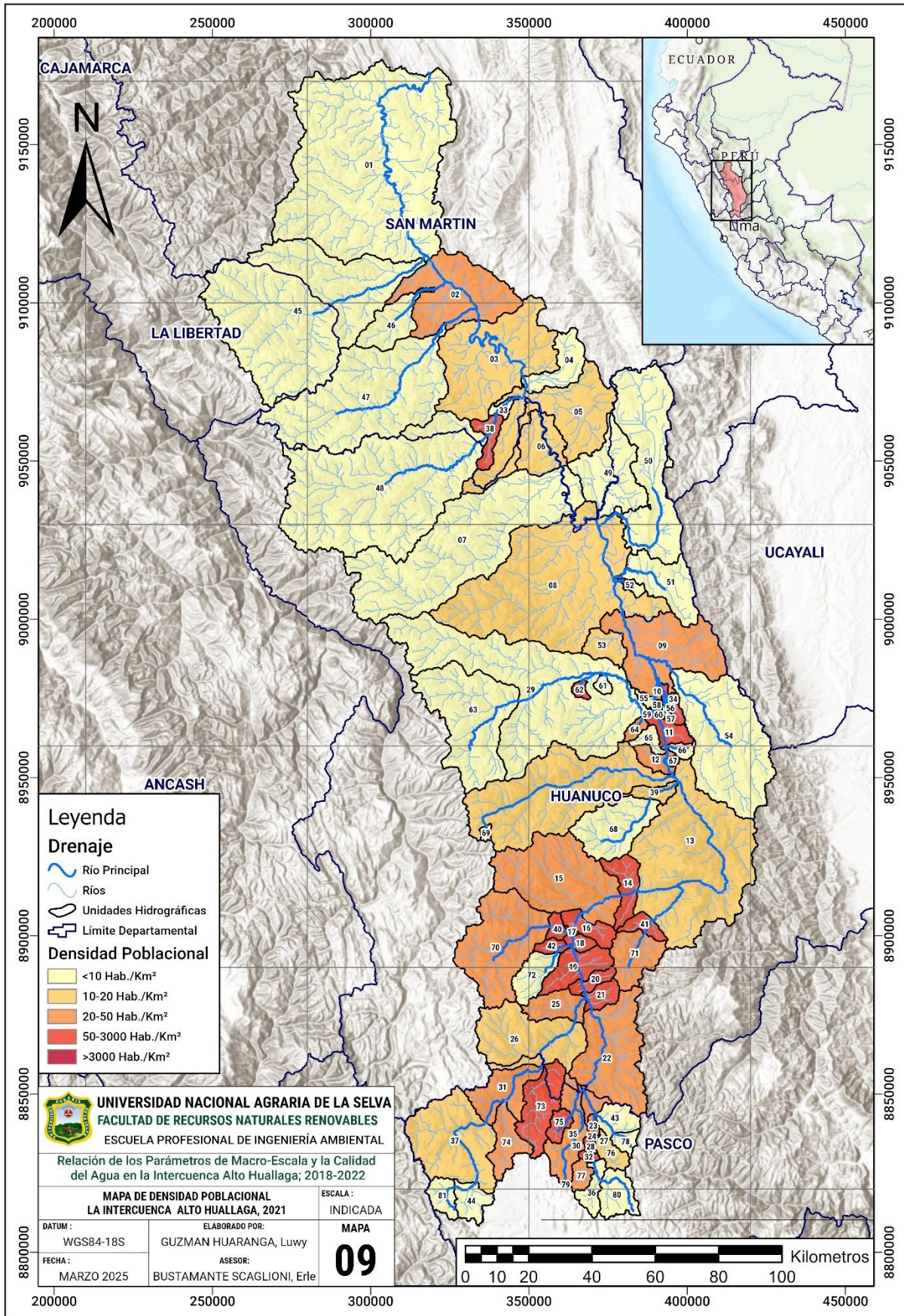


Figura 52. Densidad Poblacional por S-UH de la ICAH para el año 2021.

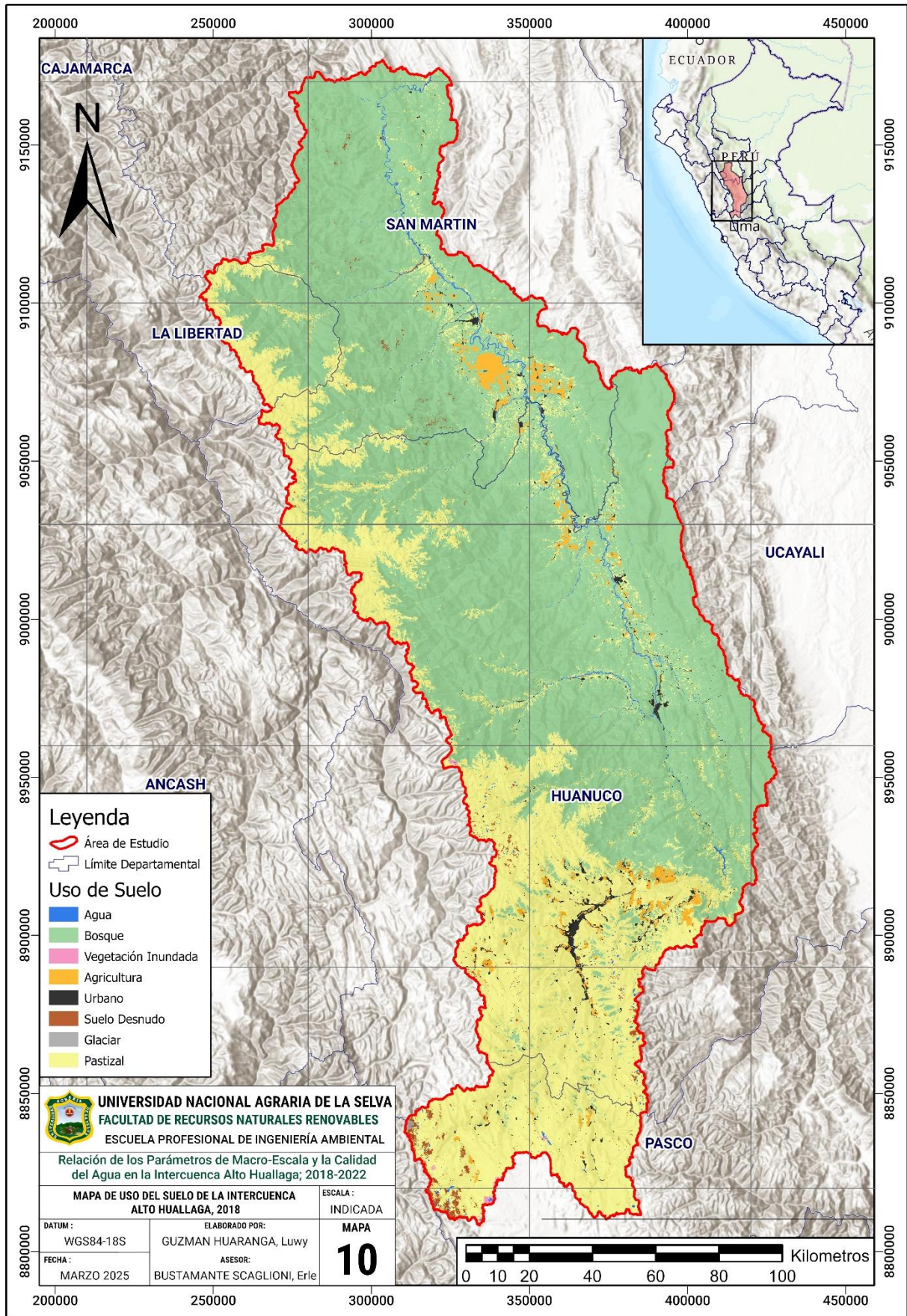


Figura 53. Uso de Suelo de la ICAH para el año 2018.

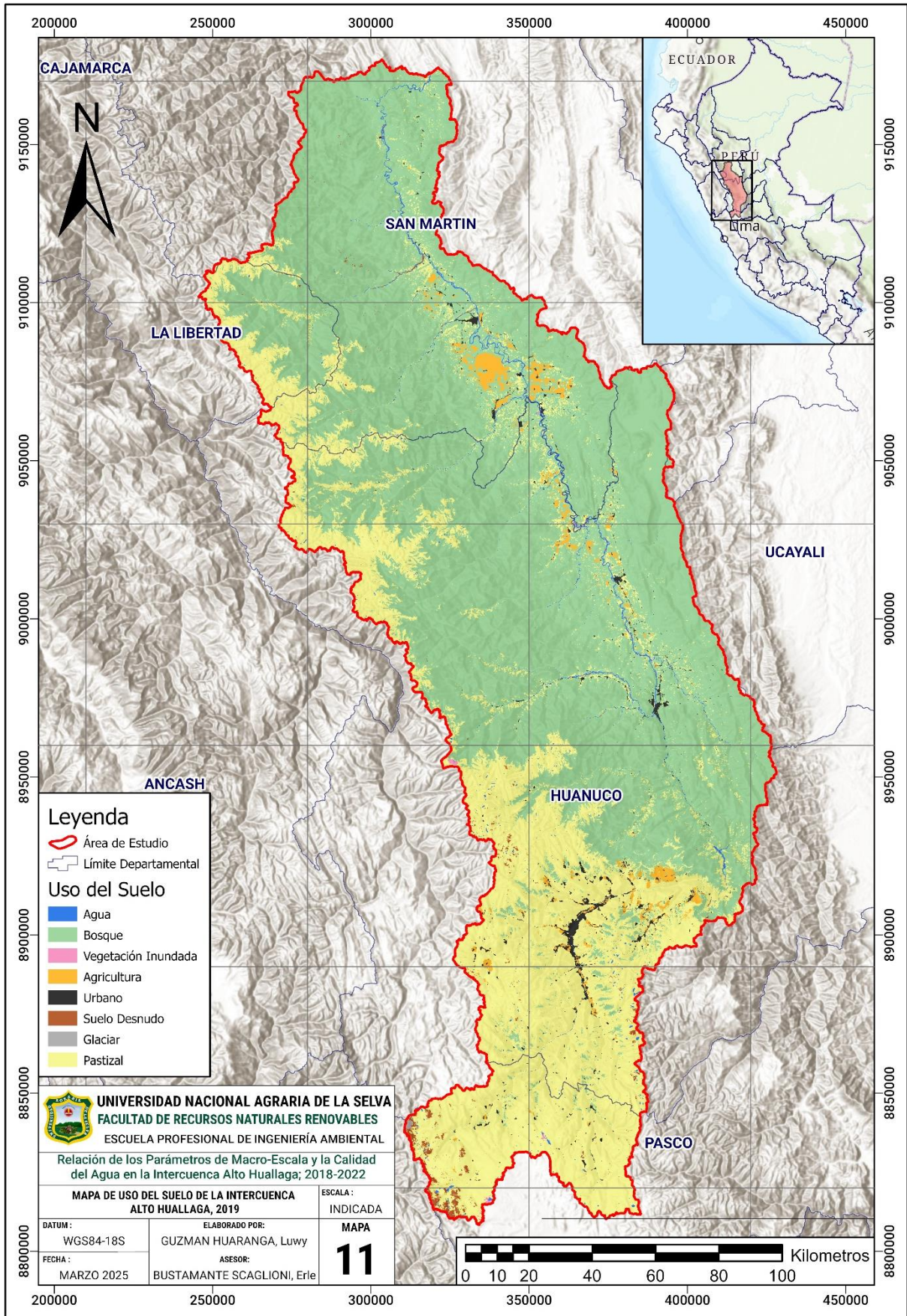


Figura 54. Uso de Suelo de la ICAH para el año 2019.

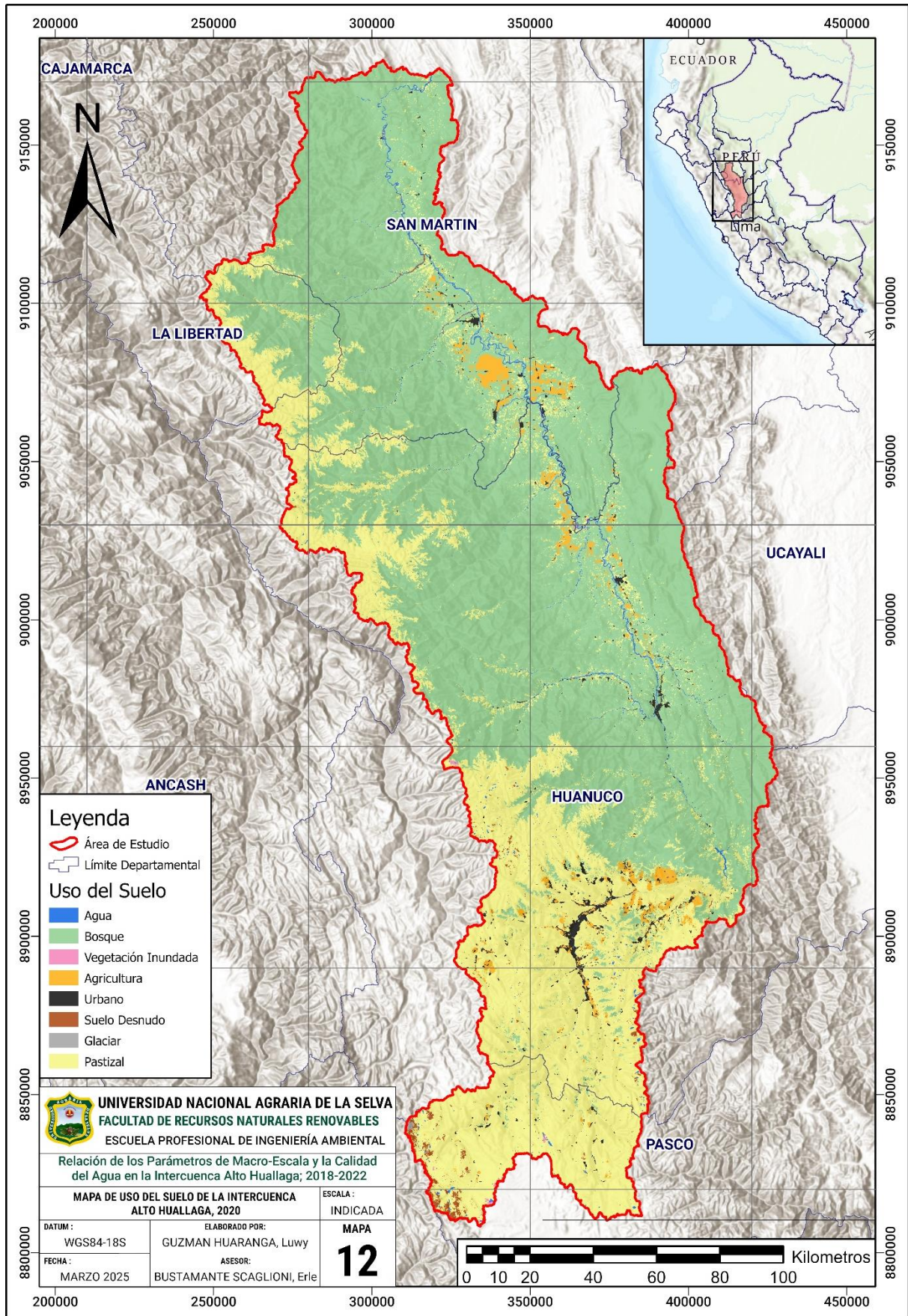


Figura 55. Uso de Suelo de la ICAH para el año 2020.

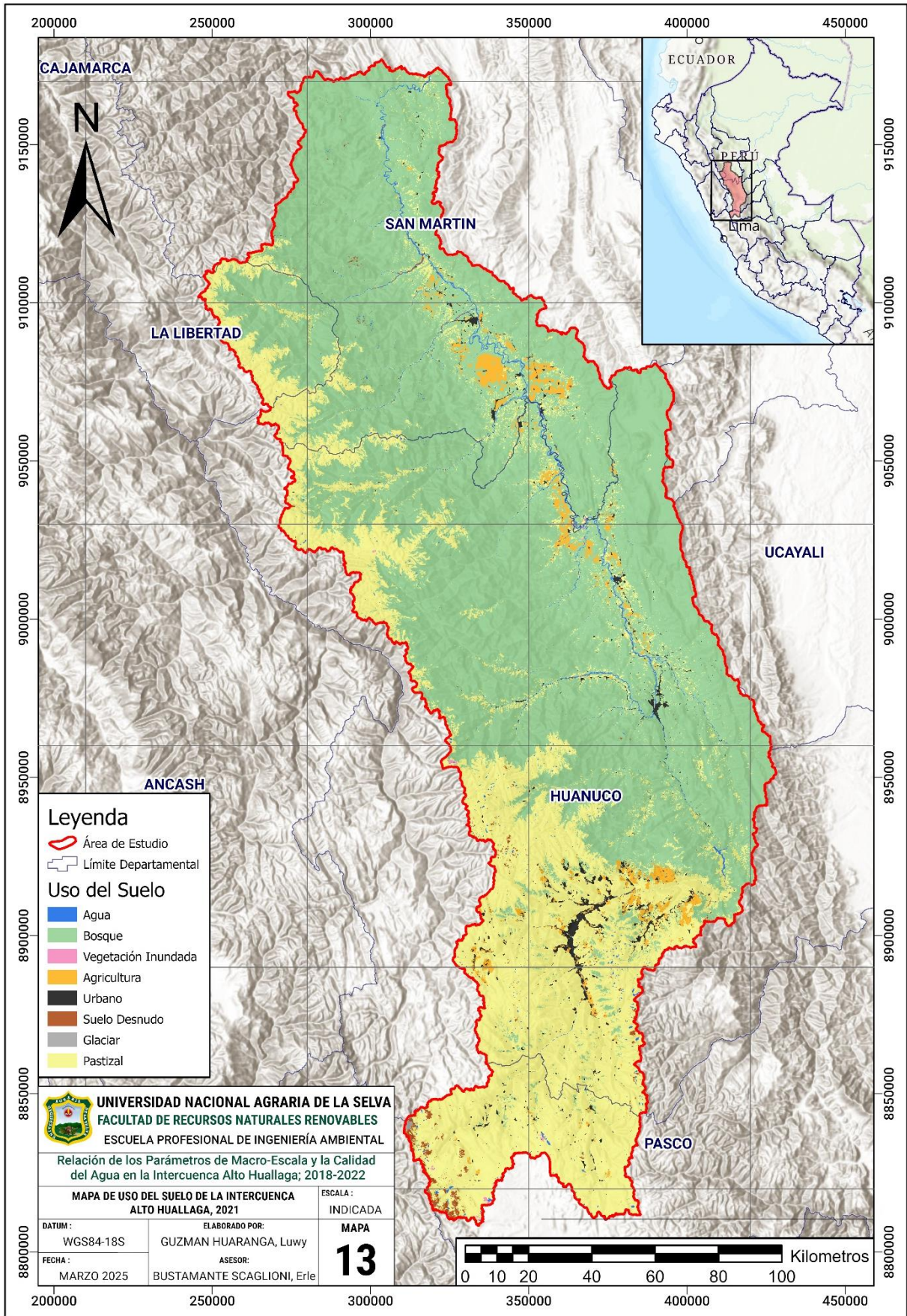


Figura 56. Uso de Suelo de la ICAH para el año 2021.

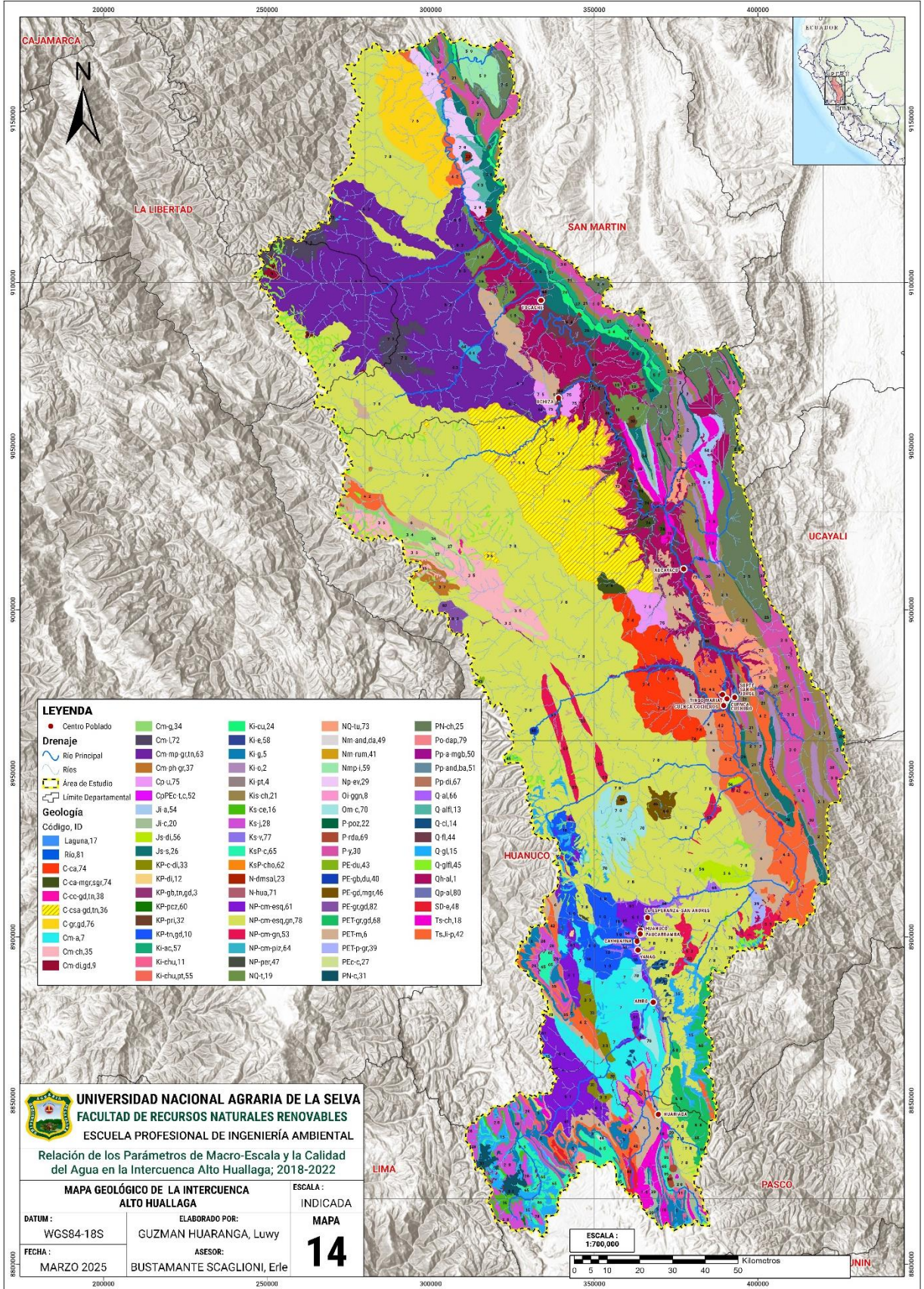


Figura 57. Mapa geológico de la Intercuenca Alto Huallaga

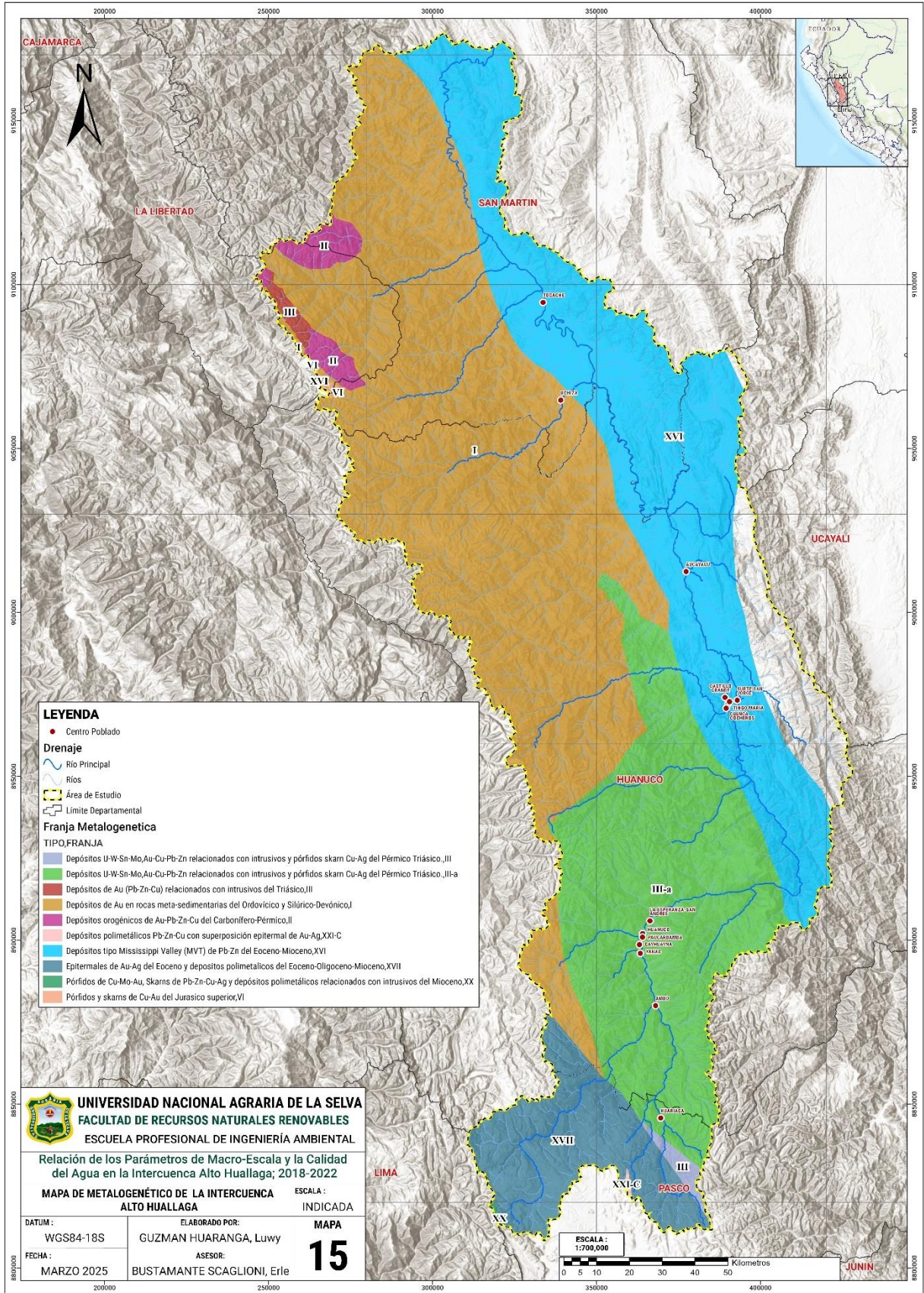


Figura 58. Mapa metalogenético de la ICAH.

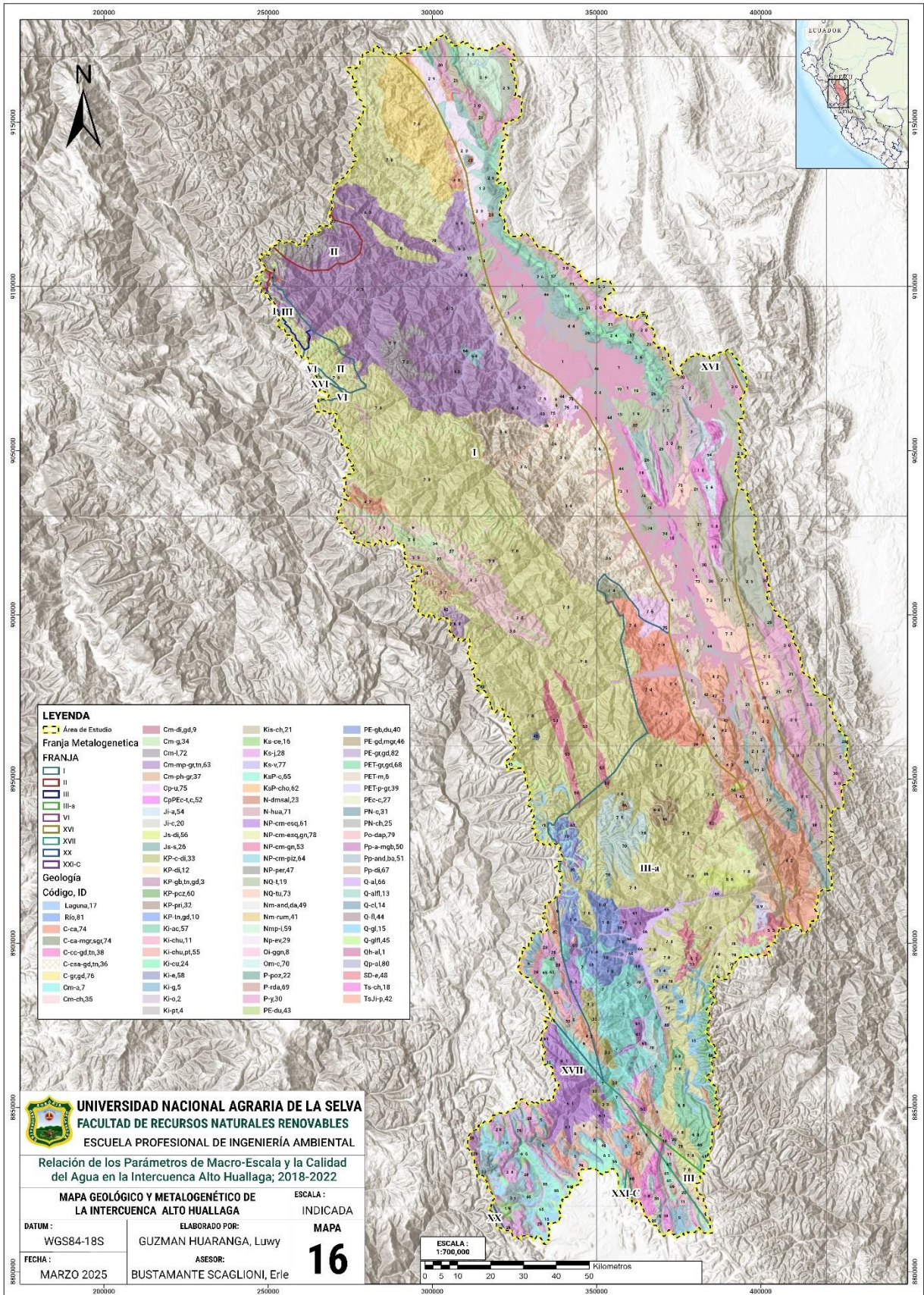


Figura 59. Mapa geológico y metalogenetico de la intercuenca alto Huallaga.

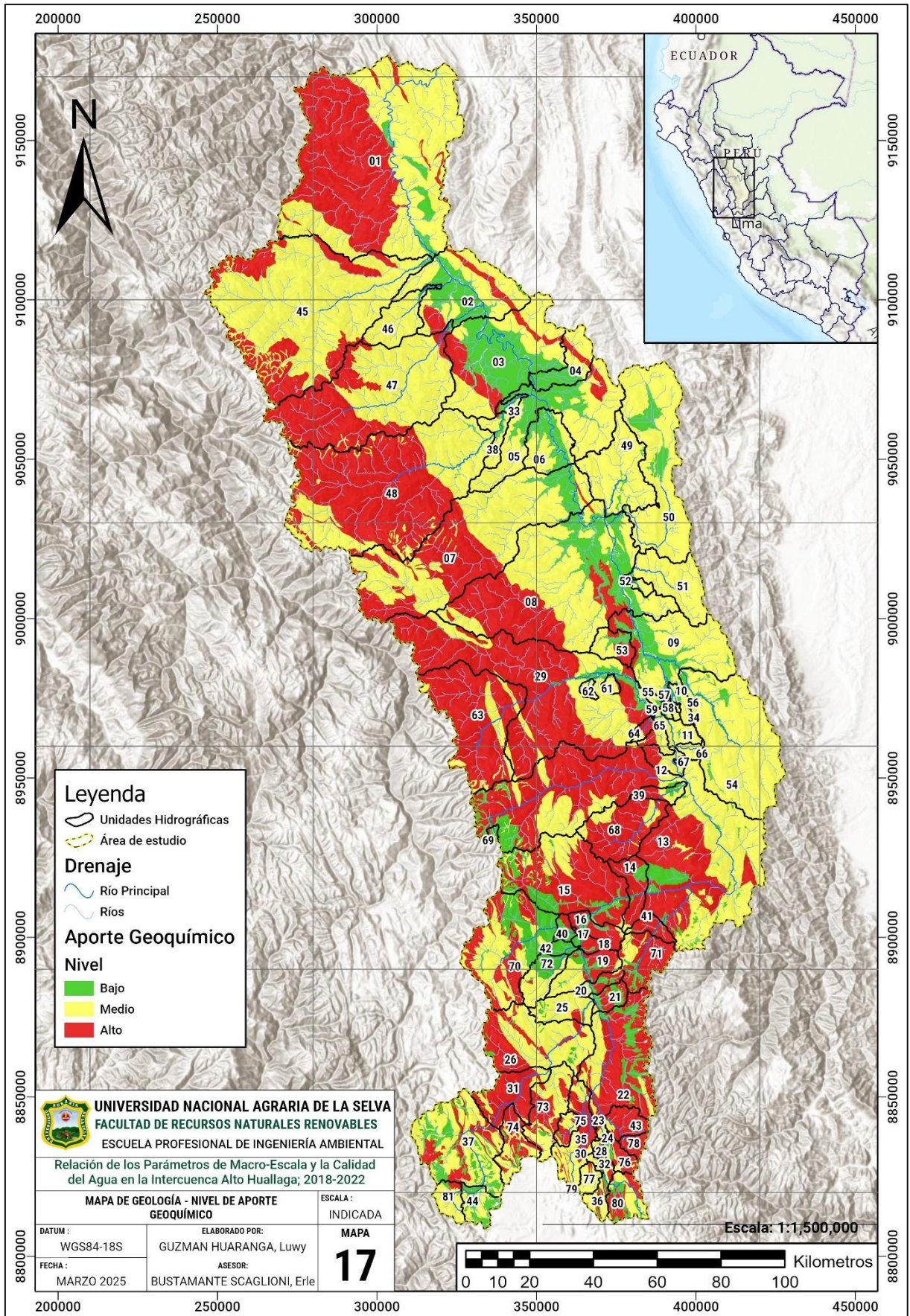


Figura 60. Mapa del nivel de aporte geoquímico de la ICAH.

Anexo E. BASE Y ANÁLISIS DE DATOS

E-1 : Data de La Encuesta a Geólogos

Tabla 48. Base de datos de los resultados de valoración de parte de los geólogos

ID	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8
1	2	1	1	1	2	1	3	2
2	3	2	3	2	3	3	4	3
3	3	3	3	3	2	4	3	2
4	4	4	3	3	4	4	3	3
5	5	5	4	4	4	4	4	2
6	4	5	4	3	4	4	4	2
7	4	4	2	3	3	4	4	2
8	5	4	1	3	2	4	4	2
9	3	4	2	3	3	4	5	3
10	1	2	1	3	1	4	1	1
11	1	1	1	3	1	2	1	1
12	1	1	1	3	2	4	1	1
13	2	2	3	1	2	1	3	2
14	2	3	2	3	3	4	3	2
15	4	4	3	3	3	4	4	3
16	3	4	3	2	3	3	3	3
17	4	5	1	3	3	4	2	4
18	3	5	3	2	3	3	4	3
19	5	5	3	2	3	3	4	1
20	5	5	2	4	2	4	3	3
21	3	3	3	3	2	3	4	3
22	3	4	4	3	2	3	3	1
23	5	5	3	3	2	4	4	4
24	5	5	2	4	3	4	3	2
25	3	4	2	2	2	3	3	2
26	2	3	3	2	2	3	3	1
27	5	5	2	4	4	4	4	2
28	4	3	2	3	4	3	3	2
29	4	3	3	3	3	4	3	1
30	5	5	2	3	2	2	3	2
31	4	4	2	2	2	3	3	1
32	3	4	1	3	2	4	3	2
33	5	5	1	3	2	4	3	4
34	5	5	1	3	2	4	3	2
35	5	5	1	3	3	2	4	2
36	5	5	4	3	2	4	4	4
37	3	4	2	2	4	3	3	2
38	2	4	3	3	4	4	3	2
39	5	4	1	3	2	4	3	2

ID	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8
40	3	5	4	1	2	1	3	2
41	4	3	2	3	3	4	3	1
42	5	5	1	3	2	4	3	1
43	4	3	2	2	3	3	3	1
44	2	1	2	4	1	4	2	2
45	2	3	3	4	2	4	3	2
46	5	4	4	4	4	4	3	3
47	4	3	3	3	4	4	3	3
48	4	4	3	3	4	4	3	3
49	4	4	3	3	3	3	3	3
50	5	3	3	3	4	4	3	3
51	5	5	5	4	4	3	3	2
52	4	4	5	2	4	3	5	4
53	4	3	3	2	2	3	3	2
54	3	4	2	4	4	4	3	2
55	4	4	5	3	4	4	4	2
56	5	4	2	2	2	3	3	2
57	2	3	3	3	2	4	3	2
58	5	4	3	3	3	4	3	3
59	3	4	3	3	4	4	3	2
60	5	5	4	4	4	4	3	4
61	3	3	4	2	3	3	3	3
62	5	5	3	2	4	3	3	3
63	4	4	5	3	3	4	3	4
64	5	3	2	2	2	3	3	4
65	3	4	4	3	3	4	3	4
66	4	4	3	2	2	3	3	4
67	4	4	5	3	2	4	4	4
68	5	5	2	2	2	3	4	4
69	4	4	5	3	4	4	4	3
70	5	5	3	4	4	4	3	4

Fuente: Elaboración propia. ID: Identificador del ítem o pregunta; G: Representación del geólogo.

Alpha de Cronbach

Luego de calcular las varianzas de cada ítem y varianza de la suma total se determinó que:

$$K \quad \text{Número de ítems} \quad = \quad 70$$

$$V_i \quad \text{Suma de Varianza por cada ítem} \quad = \quad 56.547$$

$$V_t \quad \text{Varianza de la Suma total} \quad = \quad 1,137.11$$

Cuyo resultado es 0.96, el cual es mayor a 0.72, en consecuencia, el instrumento y la base de datos obtenida, resulta con un **Excelente Nivel de Confiabilidad** (Hernández et al, 2014).

E-2 : Resultados de Correlación de Los PME y los PMECA

Tabla 49. Correlación de Pearson de la campaña 2018-I, serie de datos 1.

ID	PMECA	Densidad Poblacional	Densidad Poblacional Normalizada	Erosión Ligera	Erosión Moderada	Erosión Acusada	Erosión Alta	Erosión Muy Alta	UAT Bosque	UAT Vegetación Inundada	UAT Cultivo	UAT Urbano	UAT Suelo Desnudo	UAT Glaciar	UAT Pastizal	Geo Bajo	Geo Medio	Geo Alto	Serie
1	ICARHS	-.331**	-.331**	0,002	0,009	-0,176	0,106	0,156	0,09	-0,255	-0,1	-0,117	-0,279	-0,254	-0,073	0,105	0,228	-0,256	2018-I
2	Aceites_Grasas	-0,249	-0,249	0,218	0,016	-0,161	0,106	0,156	0,09	-0,255	-0,1	-0,117	-0,279	-0,254	-0,073	0,105	0,228	-0,256	2018-I
3	Amoniaco_N	-0,275	-0,275	-0,019	-0,123	-0,022	0,308	0,032	-0,079	-0,268	-0,373	-0,084	-0,277	-0,267	0,107	0,118	0,28	-0,312	2018-I
4	Cloruros	-0,35	-0,351	0,115	-0,081	-0,093	0,258	0,165	0,025	-0,312	-0,319	-0,156	-0,325	-0,312	0,002	0,061	0,312	-0,325	2018-I
5	Conductividad	-.435*	-.435*	0,043	-0,234	0,105	0,302	-0,1	-0,166	0,16	-.434*	-.420*	0,153	0,151	0,178	-0,232	0,308	-0,23	2018-I
6	DBO5	-0,316	-0,316	0,174	0,023	-0,181	0,148	0,217	0,111	-0,328	-0,246	-0,155	-0,356	-0,326	-0,087	0,055	0,3	-0,311	2018-I
7	DQO	-0,3	-0,3	0,177	0,01	-0,168	0,152	0,193	0,094	-0,315	-0,222	-0,139	-0,342	-0,314	-0,071	0,082	0,288	-0,308	2018-I
8	Detergentes_SAAM	-0,218	-0,218	.465*	0,238	-0,354	-0,191	0,375	0,354	-0,243	0,169	-0,184	-0,289	-0,241	-0,349	-0,018	0,17	-0,161	2018-I
9	Fosforo_total	-0,263	-0,263	.488*	0,276	-.401*	-0,209	.438*	.389*	-0,239	0,104	-0,226	-0,309	-0,241	-0,382	-0,053	0,276	-0,255	2018-I
10	Nitratos_NO3	0,16	0,16	-0,357	-0,271	0,356	0,194	-0,248	-0,258	0,13	-0,03	0,039	0,227	0,125	0,254	-0,088	-.437*	.456*	2018-I
11	Nitratos_N	0,046	0,046	-0,269	-0,332	.397*	0,21	-0,344	-0,335	.388*	-0,164	-0,121	.448*	0,381	0,325	-0,162	-0,197	0,243	2018-I
12	Nitrogeno_total	-0,286	-0,286	-0,025	-0,121	-0,024	0,309	0,045	-0,072	-0,27	-.398*	-0,099	-0,28	-0,27	0,1	0,096	0,29	-0,314	2018-I
13	OD	0,313	0,313	-.477*	-0,289	.430*	0,183	-.510**	-.448*	0,326	-0,001	0,324	0,379	0,32	.434*	0,179	-0,306	0,245	2018-I
14	pH	0,03	0,029	-.505**	-.574**	.626**	.485*	-.650**	-.643**	.467*	-0,349	0,045	.557**	.462*	.638**	0,01	-0,189	0,183	2018-I
15	SST	-0,175	-0,176	0,038	-0,016	-0,092	0,161	0,087	0,014	-0,28	-0,231	-0,017	-0,298	-0,283	0,007	0,137	0,172	-0,211	2018-I
16	Sulfatos	-.389*	-.390*	-0,092	-0,313	0,19	.408*	-0,165	-0,25	0,058	-.503**	-0,251	0,075	0,052	0,268	-0,132	0,296	-0,25	2018-I
17	Sulfuros	-0,19	-0,189	.509**	0,292	-.390*	-0,273	.409*	.412*	-0,221	0,249	-0,19	-0,269	-0,219	-.411*	-0,061	0,136	-0,114	2018-I
18	Temperatura	-0,017	-0,019	.599**	.920**	-.882**	-.853**	.718**	.919**	-.527**	.657**	-0,022	-.626**	-.533**	-.924**	-0,275	-0,128	0,211	2018-I
19	Aluminio	0,237	0,237	-0,002	0,052	-0,004	-0,103	-0,047	0,001	-0,046	0,108	0,252	-0,056	-0,052	-0,004	0,256	-0,114	0,033	2018-I
20	Antimonio	-0,041	-0,039	-0,166	-0,292	0,266	0,278	-0,176	-0,251	0,084	-0,268	0,052	0,125	0,089	0,256	0,156	0,058	-0,105	2018-I
21	Arsénico	-0,299	-0,298	-.354	-.557**	.441*	.658**	-0,154	-.402*	-0,063	-.557**	-0,186	0,045	-0,063	.428*	-0,042	-0,028	0,041	2018-I
22	Bario	-0,254	-0,257	0,154	0,159	-0,203	-0,095	0,201	0,221	-0,186	0,073	-0,185	-0,184	-0,191	-0,216	-0,276	-0,063	0,147	2018-I
23	Berilio	.c	.c	.c	.c	.c	.c	.c	.c	.c	.c	.c	.c	.c	.c	.c	.c	.c	2018-I
24	Bismuto	-0,228	-0,228	-0,168	-0,212	0,091	.396*	-0,086	-0,201	-0,21	-.456*	-0,032	-0,205	-0,211	0,229	0,138	0,25	-0,288	2018-I
25	Boro	-0,176	-0,178	-0,15	-.339	0,302	0,311	-0,195	-0,275	0,19	-0,319	-0,091	0,23	0,184	0,279	-0,077	0,085	-0,06	2018-I
26	Cadmio	-0,228	-0,228	-0,168	-0,212	0,091	.396*	-0,086	-0,201	-0,21	-.456*	-0,032	-0,205	-0,211	0,229	0,138	0,25	-0,288	2018-I
27	Calcio	-.496**	-.498**	0,072	-0,126	0,014	0,206	-0,025	-0,039	0,083	-0,316	-.452*	0,097	0,073	0,049	-.456*	0,122	0,021	2018-I
28	Cobalto	-0,091	-0,091	-0,108	-0,153	0,067	0,276	-0,056	-0,14	-0,23	-0,336	0,086	-0,224	-0,23	0,162	0,232	0,206	-0,274	2018-I
29	Cobre	-0,297	-0,297	0,018	-0,167	0,019	0,315	-0,032	-0,129	-0,12	-.396*	-0,144	-0,133	-0,12	0,151	0,106	0,313	-0,34	2018-I
30	Cromo_total	0,18	0,18	-0,206	0,252	-0,132	-0,2	-0,149	0,048	-0,093	0,305	0,228	-0,089	-0,09	-0,055	-0,092	-.419*	.440*	2018-I
31	Estaño	-0,228	-0,228	-0,168	-0,212	0,091	.396*	-0,086	-0,201	-0,21	-.456*	-0,032	-0,205	-0,211	0,229	0,138	0,25	-0,288	2018-I
32	Estroncio	-.379	-.381	0,259	0,049	-0,122	-0,048	-0,019	0,078	0,224	-0,069	-.419*	0,199	0,216	-0,083	-.415*	0,164	-0,033	2018-I
33	Hierro	-0,159	-0,159	0,097	0,034	-0,143	0,103	0,219	0,099	-0,341	-0,256	-0,003	-0,371	-0,341	-0,075	0,178	0,297	-0,346	2018-I
34	Litio	-0,165	-0,166	-0,154	-.346	0,31	0,315	-0,169	-0,264	0,16	-0,285	-0,073	0,211	0,154	0,268	-0,08	0,036	-0,011	2018-I
35	Magnesio	-0,377	-.378	-0,202	-0,347	0,219	.494*	-0,172	-0,298	-0,025	-.582**	-0,203	-0,001	-0,032	0,322	-0,083	0,231	-0,201	2018-I
36	Manganeso	-0,268	-0,268	-0,028	-0,122	-0,02	0,308	0,039	-0,078	-0,277	-0,385	-0,074	-0,285	-0,276	0,105	0,122	0,291	-0,323	2018-I
37	Mercurio	.c	.c	.c	.c	.c	.c	.c	.c	.c	.c	.c	.c	.c	.c	.c	.c	.c	2018-I
38	Molibdeno	-0,09	-0,088	-0,177	-0,267	0,237	0,279	-0,164	-0,225	0,014	-0,219	0,013	0,065	0,011	0,233	0,069	-0,064	0,042	2018-I
39	Niquel	-0,172	-0,173	-0,083	-0,191	0,104	0,283	-0,143	-0,193	-0,06	-0,307	0,007	-0,057	-0,064	0,208	0,117	0,16	-0,193	2018-I
40	Plata	-0,228	-0,228	-0,168	-0,212	0,091	.396*	-0,086	-0,201	-0,21	-.456*	-0,032	-0,205	-0,211	0,229	0,138	0,25	-0,288	2018-I
41	Plomo	-0,253	-0,253	-0,18	-0,255	0,125	.440*	-0,077	-0,217	-0,223	-.474*	-0,053	-0,204	-0,223	0,246	0,125	0,222	-0,257	2018-I
42	Potasio	-0,339	-0,339	0,155	-0,027	-0,138	0,194	0,177	0,066	-0,298	-0,291	-0,172	-0,32	-0,296	-0,041	0,052	0,319	-0,33	2018-I
43	Selenio	.c	.c	.c	.c	.c	.c	.c	.c	.c	.c	.c	.c	.c	.c	.c	.c	.c	2018-I
44	Silicio	0,003	0,001	0,278	-.467*	-.454*	-.410*	.522**	.512**	-0,374	0,21	-0,006	-.435*	-0,375	-.507**	-0,065	0,093	-0,071	2018-I
45	Sodio	-0,314	-0,314	0,202	0,01	-0,175	0,149	0,23	0,115	-0,335	-0,213	-0,144	-0,361	-0,334	-0,092	0,083	0,309	-0,329	2018-I
46	Talio	-0,228	-0,228	-0,168	-0,212	0,091	.396*	-0,086	-0,201	-0,21	-.456*	-0,032	-0,205	-0,211	0,229	0,138	0,25	-0,288	2018-I
47	Titano	0,206	0,207	-0,011	-0,015	0,023	0	-0,015	-0,025	-0,167	0,027	0,264	-0,165	-0,167	0,03	0,363	-0,027	-0,085	2018-I
48	Uranio	-.404*	-.404*	-0,209	-.403*	0,254	.558**	-0,073	-0,279	-0,1	-.595**	-0,283	-0,049	-0,103	0,308	-0,121	0,201	-0,16	2018-I
49	Vanadio	0,276	0,275	-0,303	0,037	0,1	-0,069	-0,315	-0,14	0,053	0,131	-0,264	0,073	0,045	0,133	0,063	-0,353	0,327	2018-I
50	Zinc	-0,044	-0,045	-0,19	-0,244	0,151	0,379	-0,137	-0,244	-0,175	-0,385	0,068	-0,161	-0,17	0,268	0,274	0,211	-0,292	2018-I
51	Colifo.Termotolerantes	-0,108	-0,109	-0,082	0,12	-0,146	0,029	0,079	0,096	-0,24	-0,185	-0,001	-0,264	-0,25	-0,08	-0,073	0,055	-0,031	2018-I
52	Escherichia_Coli	-0,228	-0,228	-0,122	-0,098	-0,011	0,294	-0,006	-0,09	-0,264	-.400*	-0,039	-0,272	-0,268	0,117	0,074	0,222	-0,241	2018-I

Tabla 50. Correlación de Pearson de la campaña 2018-II, serie de datos 2.

ID	PMECA	Densidad Poblacional	Densidad Poblacional Normalizada	Erosión Ligera	Erosión Moderada	Erosión Acusada	Erosión Alta	Erosión Muy Alta	UAT Bosque	UAT Vegetación Inundada	UAT Cultivo	UAT Urbano	UAT Suelo Desnudo	UAT Glaciar	UAT Pastizal	Geo Bajo	Geo Medio	Geo Alto	Serie
53	ICARHS	-.227*	-.227*	-0,119	-0,012	-0,055	0,182	0,051	0,008	-0,010	-0,178	-.267*	-0,136	-.237*	0,068	-.220*	-0,150	-.247*	2018-II
54	Aceites_Grasas	.667**	.667**	-0,028	-0,012	-0,056	0,119	-0,051	-0,032	-0,053	-0,121	.678**	-0,042	-0,060	-0,096	.279*	0,084	-0,209	2018-II
55	Amoniaco_N	.548**	.548**	-0,012	-0,014	-0,075	0,138	-0,062	-0,069	-0,062	-0,122	.596**	-0,041	-0,067	-0,042	.236*	0,133	-.237*	2018-II
56	Cloruros	.285**	.285**	.363**	-0,035	-0,211	0,081	-0,168	-.254*	.804**	0,037	.272*	.403**	.382**	0,135	.335**	0,065	-0,217	2018-II
57	Conductividad	.254**	.254**	0,191	-0,179	0,001	0,177	-.245*	-.352**	.258*	-0,112	.316**	0,124	0,159	.271**	0,138	.356**	-.408**	2018-II
58	DBO5	.476**	.476**	-0,047	-0,016	-0,058	0,144	-0,079	-0,063	-0,057	-0,118	.522**	-0,037	-0,065	-0,034	0,186	0,129	-0,210	2018-II
59	DQO	.534**	.534**	-0,024	-0,041	-0,034	0,138	-0,073	-0,073	-0,073	-0,074	.573**	-0,045	-0,080	-0,034	.225*	0,104	-0,204	2018-II
60	Detergentes_SAAM	.648**	.648**	-0,008	0,014	-0,048	0,055	-0,159	-0,121	-0,064	-0,035	.673**	0,002	-0,033	-0,013	.376**	0,130	-.299**	2018-II
61	Fosforo_total	.623**	.623**	0,005	0,038	-0,108	0,078	-0,035	-0,013	-0,087	-0,083	.645**	-0,076	-0,094	-0,104	.266*	0,109	-.228*	2018-II
62	Nitratos_NO3	-0,159	-0,159	-0,145	-.219*	.297**	0,091	-0,034	-0,094	-0,194	0,025	-0,099	-.224*	-0,197	0,145	-0,098	0,208	-0,156	2018-II
63	Nitratos_N	-0,161	-0,161	-0,142	-0,216	.297**	0,084	-0,039	-0,102	-0,196	0,021	-0,102	-.227*	-0,200	0,155	-0,094	0,204	-0,154	2018-II
64	Nitrogeno_total	.733**	.733**	-0,008	-0,009	-0,066	0,112	-0,042	-0,025	-0,069	-0,129	.739**	-0,047	-0,066	-0,114	.307**	0,093	-.231*	2018-II
65	OD	-.546**	-.546**	-0,144	.385**	-0,102	-.432**	0,187	.490**	-0,108	.250*	-.553**	-0,185	-0,122	-.359**	-.416**	0,036	0,157	2018-II
66	pH	-.229*	-.229*	0,003	-.261**	0,183	.224*	-.443**	-.571**	.297**	0,118	-.223*	.239*	.303**	.579**	0,030	-0,001	-0,013	2018-II
67	SST	-0,035	-0,035	0,068	.252*	-.224*	-0,190	0,056	0,212	-0,081	.280*	-0,043	-0,103	-0,087	-0,196	-0,063	0,034	-0,004	2018-II
68	Sulfatos	-0,068	-0,068	0,067	-0,196	0,065	0,213	-0,216	-.453**	0,092	-0,158	-0,020	-0,022	-0,007	.463**	-0,019	0,135	-0,122	2018-II
69	Sulfuros	.732**	.732**	-0,012	0,002	-0,041	0,061	-0,014	0,025	-0,040	-0,092	.699**	-0,041	-0,045	-0,158	.313**	0,012	-0,156	2018-II
70	Temperatura	.318**	.318**	0,111	.361**	-0,184	-.479**	.369**	.711**	-.254*	0,112	.348**	-.316**	-.294**	-.741**	-0,035	.259**	-.228*	2018-II
71	Aluminio	-0,073	-0,073	0,028	.253*	-0,185	-0,214	0,079	.242*	-0,077	.258*	-0,092	-0,097	-0,080	-0,216	-0,080	0,059	-0,021	2018-II
72	Antimonio	-0,090	-0,090	-0,078	-.301**	0,170	.360**	-0,154	-.465**	-0,014	-0,132	-0,071	-0,016	-0,011	.485**	0,008	0,075	-0,076	2018-II
73	Arsénico	-0,065	-0,065	0,019	-.222*	0,041	.325**	-0,211	-.505**	0,123	0,049	-0,039	0,074	.244*	.501**	0,039	0,085	-0,100	2018-II
74	Bario	.288**	.288**	0,161	.248*	-.249*	-0,218	0,042	.250*	-0,047	0,129	.248*	-0,127	-0,082	-.287**	0,039	.238*	-.248*	2018-II
75	Berilio	-0,043	-0,043	0,018	0,171	-0,123	-0,148	0,035	0,174	-0,054	0,132	-0,048	-0,059	-0,057	-0,160	-0,037	0,061	-0,042	2018-II
76	Bismuto	0,166	0,166	-0,060	-0,042	-0,032	0,166	-0,100	-0,120	-0,053	-0,120	.247*	-0,024	-0,060	0,077	0,053	0,172	-0,190	2018-II
77	Boro	-0,085	-0,085	0,084	-.220*	0,143	0,135	-0,184	-.434**	.302**	0,123	-0,102	.285**	.523**	.410**	0,081	-0,041	0,003	2018-II
78	Cadmio	-0,038	-0,038	-0,069	-0,058	-0,013	0,173	-0,110	-0,174	-0,060	-0,109	0,050	-0,028	-0,071	0,171	-0,025	0,173	-0,156	2018-II
79	Calcio	0,163	0,163	0,157	-0,144	0,021	0,113	-0,199	-.244*	.222*	0,128	-.244*	0,068	0,108	0,192	0,054	.419**	-.430**	2018-II
80	Cobalto	-0,072	-0,072	0,062	.231*	-0,199	-0,180	0,030	0,141	-0,055	.351**	-0,089	-0,100	-0,073	-0,118	-0,067	-0,057	0,086	2018-II
81	Cobre	0,001	0,001	-0,074	-0,120	0,042	0,211	-0,084	-.271**	-0,111	-0,043	0,018	-0,095	-0,133	.283*	0,048	0,050	-0,070	2018-II
82	Cromo_total	-0,032	-0,032	-0,065	-0,096	0,016	0,194	-0,034	-0,114	-0,065	0,016	-0,006	-0,061	-0,073	0,124	-0,097	0,131	-0,082	2018-II
83	Estaño	-0,027	-0,027	-0,011	-0,021	0,054	-0,026	-0,057	-0,037	0,012	0,100	-0,022	-0,002	0,038	0,039	0,003	0,000	-0,001	2018-II
84	Estroncio	.276*	.276*	.238*	-0,103	-0,050	0,078	-.228*	-.259**	.343**	-0,121	.300**	.412**	.405**	0,144	0,144	.343**	-.398**	2018-II
85	Hierro	-0,053	-0,053	0,009	0,073	-0,111	0,016	0,000	0,037	-0,078	0,202	-0,035	-0,092	-0,084	-0,022	-0,103	0,085	-0,035	2018-II
86	Litio	-0,072	-0,072	0,172	-0,182	0,076	0,094	-0,187	-.441**	.413**	0,189	-0,102	.222*	.656**	.421**	0,087	-0,069	0,026	2018-II
87	Magnesio	0,067	0,067	0,047	-.226*	0,094	.242*	-.251*	-.471**	0,135	-0,039	0,124	0,003	0,080	.445**	0,026	0,181	-0,187	2018-II
88	Manganeso	0,092	0,092	0,060	0,141	-0,209	-0,008	-0,008	0,076	-0,128	0,092	0,153	-0,129	-0,144	-0,091	-0,016	0,194	-0,180	2018-II
89	Mercurio	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	2018-II
90	Molibdeno	-0,031	-0,031	-0,059	-.289**	0,182	.309**	-0,153	-.471**	0,054	-0,030	-0,047	0,034	0,060	.477**	0,062	0,051	-0,078	2018-II
91	Niquel	-0,043	-0,043	0,042	.221*	-0,192	-0,157	0,017	0,091	-0,061	.356**	-0,058	-0,106	-0,081	-0,074	-0,046	-0,083	0,101	2018-II
92	Plata	-0,024	-0,024	-0,056	-0,039	-0,026	0,148	-0,097	-0,118	-0,040	-0,093	0,069	-0,011	-0,046	0,109	-0,031	0,173	-0,153	2018-II
93	Plomo	-0,044	-0,044	-0,066	-0,074	-0,010	0,196	-0,112	-0,192	-0,072	-0,078	0,041	-0,046	-0,084	0,193	-0,032	0,176	-0,156	2018-II
94	Potasio	.651**	.651**	0,061	0,050	-0,143	0,063	-0,064	-0,044	-0,053	-0,038	.667**	-0,083	-0,049	-0,078	.292**	0,136	-.266*	2018-II
95	Selenio	-0,098	-0,098	0,031	-0,056	0,044	0,018	-0,071	-0,146	0,136	0,090	-0,123	0,030	-0,029	0,164	0,042	0,104	-0,120	2018-II
96	Silicio	0,122	0,122	0,105	.390**	-.284**	-.383**	.233*	.469**	-0,188	.273*	0,096	-.241*	-.223*	-.462**	-0,042	0,094	-0,071	2018-II
97	Sodio	.530**	.530**	.261**	-0,031	-0,161	0,081	-0,144	-0,210	.585**	-0,005	.516**	.275**	.277**	0,061	.407**	0,077	-.261*	2018-II
98	Talio	-0,054	-0,054	-0,069	-0,148	0,077	0,208	-0,074	-.269*	-0,085	-0,139	-0,041	-0,063	-0,106	.291**	0,029	0,065	-0,076	2018-II
99	Titanio	-0,051	-0,051	0,005	.226*	-0,165	-0,175	0,047	0,174	-0,074	.321**	-0,075	-0,098	-0,085	-0,153	-0,086	-0,058	0,096	2018-II
100	Uranio	-0,170	-0,170	-0,020	-0,170	0,083	0,204	-0,104	-.361**	-0,019	0,137	-0,173	-0,114	-0,046	.408**	-0,104	0,045	0,004	2018-II
101	Vanadio	-0,056	-0,056	0,042	.238*	-0,172	-0,216	0,049	0,194	-0,084	.369**	-0,067	-0,094	-0,076	-0,176	-0,045	-0,004	0,024	2018-II
102	Zinc	0,044	0,044	-0,070	-0,106	0,061	0,160	-0,106	-0,197	-0,012	-0,007	0,101	-0,005	0,013	0,178	0,022	0,081	-0,089	2018-II
103	Colifor_Termotolerantes	.729**	.729**	-0,018	-0,004	-0,043	0,080	-0,025	0,006	-0,043	-0,100	.708**	-0,041	-0,048	-0,141	.311**	0,031	-0,173	2018-II
104	Escherichia_Coli	.728**	.728**	-0,019	-0,003	-0,042	0,077	-0,023	0,009	-0,042	-0,097	.705**	-0,041	-0,047	-0,143	.310**	0,025	-0,167	2018-II

Tabla 51. Correlación de Pearson de la campaña 2019-II, serie de datos 3.

ID	PMECA	Densidad Poblacional	Densidad Poblacional Normalizada	Erosión Ligera	Erosión Moderada	Erosión Acusada	Erosión Alta	Erosión Muy Alta	UAT Bosque	UAT Vegetación Inundada	UAT Cultivo	UAT Urbano	UAT Suelo Desnudo	UAT Glaciar	UAT Pastizal	Geo Bajo	Geo Medio	Geo Alto	Serie
105	ICARHS	-.410**	-.410**	0,065	0,067	-0,079	-0,075	0,005	0,078	0,097	-0,157	-.481**	-0,091	-0,023	0,031	-.372**	-0,096	-.264*	2019-II
106	Aceites_Grasas	.740**	.740**	-0,069	-0,153	0,099	.288**	0,002	-0,006	-0,066	-0,119	.742**	-0,039	-0,066	-0,135	.307**	0,079	-0,217	2019-II
107	Amoniaco_N	.453**	.453**	0,014	-0,002	0,069	-0,042	-0,033	-0,085	-0,132	.505**	-0,041	-0,080	-0,059	0,182	0,186	-.264*	2019-II	
108	Cloruros	0,143	0,143	.395**	-0,033	-0,141	-0,096	-0,116	0,000	.298**	-0,030	0,123	.466**	.224*	-0,082	0,209	0,064	-0,158	2019-II
109	Conductividad	.281*	.281*	.426**	0,185	-.345**	-0,206	-0,164	-.372**	.237*	-0,165	.317**	0,135	0,213	.290**	0,175	.322**	-.392**	2019-II
110	DBO5	.865**	.865**	-0,070	-0,177	0,111	.328**	-0,028	0,038	-0,063	-0,101	.847**	-0,041	-0,071	-0,199	.388**	0,069	-.245*	2019-II
111	DQO	.631**	.631**	-0,049	-0,117	0,073	.219*	-0,013	-0,006	-0,103	-0,146	.671**	-0,057	-0,081	-0,117	.301**	0,155	-.288**	2019-II
112	Detergentes_SAAM	.810**	.810**	-0,070	-0,198	0,127	.342**	0,043	0,038	-0,054	-0,096	.782**	-0,040	-0,053	-0,186	.349**	0,019	-0,179	2019-II
113	Fosforo_total	.547**	.547**	-0,041	-0,045	0,018	0,154	-0,083	-0,051	-0,093	-0,137	.586**	-0,048	-0,090	-0,056	.223*	0,165	-.262*	2019-II
114	Nitratos_NO3	-0,193	-0,193	0,116	.333**	-.273*	-.388**	-.255*	-.427**	-0,145	0,048	-0,149	-0,179	-0,112	.476**	0,010	0,039	-0,042	2019-II
115	Nitratos_N	-0,196	-0,196	0,129	.348**	-.292*	-.397**	-.263*	-.437**	-0,149	0,044	-0,153	-0,183	-0,116	.488**	0,015	0,034	-0,040	2019-II
116	Nitrogeno_total	-0,008	-0,008	-0,148	-.280*	.254*	.313**	.591**	0,169	-0,048	-0,087	-0,101	-0,036	-0,048	-0,160	-0,071	-0,032	0,063	2019-II
117	OD	-.314**	-.314**	-.411**	-.394**	.449**	.509**	.437**	.732**	-0,206	0,199	-.328**	-.269*	-0,191	-.631**	-.418**	0,159	0,038	2019-II
118	pH	-.255*	-.255*	.296**	.505**	-.471**	-.613**	-.330**	-.652**	.288**	0,071	-.279*	0,202	.298**	.674**	-0,006	-0,042	0,043	2019-II
119	SST	0,150	0,150	-0,096	-0,095	0,099	0,150	0,007	0,121	-0,085	0,051	0,174	-0,083	-0,073	-0,145	0,050	0,072	-0,093	2019-II
120	Sulfatos	-0,063	-0,063	.357**	.330**	-.410**	-.350**	-.259*	-.417**	0,056	-0,206	-0,049	-0,014	-0,001	.429**	-0,051	0,113	-0,086	2019-II
121	Sulfuros	.894**	.894**	0,064	-0,160	0,041	.264*	0,180	0,039	-0,088	-0,143	.901**	-0,055	-0,088	-0,208	.434**	0,094	-.291**	2019-II
122	Temperatura	.241*	.241*	-.276*	-.573**	.526**	.618**	.518**	.772**	-0,208	0,160	.266**	-.270*	-0,197	-.787**	-0,041	.253*	-.262*	2019-II
123	Aluminio	-0,001	-0,001	-0,141	-0,088	0,109	0,169	0,018	0,172	-0,078	0,090	0,015	-0,080	-0,074	-0,165	-0,046	0,030	-0,008	2019-II
124	Antimonio	-0,070	-0,070	0,178	.309**	-.315**	-.291**	-0,204	-.356**	-0,035	-0,156	-0,068	-0,020	0,001	.372**	0,009	0,054	-0,056	2019-II
125	Arsénico	-0,039	-0,039	.286**	.409**	-.432**	-.417**	-.299*	-.534**	0,114	-0,121	-0,033	0,046	.229*	.532**	0,073	0,028	-0,061	2019-II
126	Bario	.351**	.351**	0,076	-.248*	0,150	0,199	0,107	0,182	-0,007	-0,114	.328**	-0,088	0,000	-.234*	0,043	.368**	-.375**	2019-II
127	Berilio	.e	.e	.e	.e	.e	.e	.e	.e	.e	.e	.e	.e	.e	.e	.e	.e	.e	2019-II
128	Bismuto	0,158	0,158	-0,008	0,048	-0,037	-0,021	-0,078	-0,119	-0,063	-0,110	.228*	-0,015	-0,063	0,077	0,050	0,166	-0,183	2019-II
129	Boro	-0,055	-0,055	0,156	0,103	-0,156	-0,103	0,038	-0,166	.238*	-0,047	-0,081	0,121	.462**	0,163	-0,006	0,098	-0,092	2019-II
130	Cadmio	-0,030	-0,030	0,019	0,111	-0,084	-0,120	-0,094	-0,149	-0,062	-0,100	0,042	-0,014	-0,062	0,144	-0,024	0,153	-0,137	2019-II
131	Calcio	0,091	0,091	.354**	0,133	-.247*	-.223*	-0,205	-.313**	0,083	-.248*	0,145	0,079	0,113	.275*	0,021	.433**	-.428**	2019-II
132	Cobalto	0,024	0,024	-0,077	0,066	-0,038	0,029	-0,032	0,057	-0,049	0,168	0,034	-0,085	-0,057	-0,055	0,027	-0,071	0,056	2019-II
133	Cobre	0,084	0,084	0,081	.251*	-.238*	-0,185	-0,178	-.308**	-0,131	-0,135	0,111	-0,083	-0,122	.297**	0,094	0,039	-0,081	2019-II
134	Cromo_total	0,030	0,030	0,001	.255*	-0,211	-0,157	-0,167	-0,176	-0,141	-0,001	0,042	-0,115	-0,148	0,182	0,017	0,002	-0,010	2019-II
135	Estaño	.e	.e	.e	.e	.e	.e	.e	.e	.e	.e	.e	.e	.e	.e	.e	.e	.e	2019-II
136	Estroncio	0,084	0,084	.354**	0,091	-0,216	-0,187	-0,162	-.248*	.250*	-0,163	0,091	.335**	.280*	0,187	0,030	.387**	-.388**	2019-II
137	Hierro	0,071	0,071	-0,124	-0,061	0,079	0,151	0,002	0,162	-0,101	0,127	0,098	-0,110	-0,102	-0,168	0,023	0,002	-0,012	2019-II
138	Litio	-0,070	-0,070	.417**	.361**	-.461**	-.391**	-.238*	-.460**	.497**	0,006	-0,098	0,213	.832**	.443**	0,078	-0,078	0,039	2019-II
139	Magnesio	0,012	0,012	.330**	.333**	-.394**	-.368**	-.277*	-.500**	0,108	-0,155	0,067	0,011	0,165	.483**	0,025	0,173	-0,179	2019-II
140	Manganeso	0,151	0,151	0,006	-0,070	0,045	0,076	-0,046	0,033	-0,134	-0,120	.223*	-0,099	-0,137	-0,062	0,104	0,214	-.255*	2019-II
141	Mercurio	.e	.e	.e	.e	.e	.e	.e	.e	.e	.e	.e	.e	.e	.e	.e	.e	.e	2019-II
142	Molibdeno	0,025	0,025	.307**	.334**	-.387**	-.356**	-.249*	-.513**	0,087	-0,127	0,016	0,026	0,103	.504**	0,103	0,131	-0,174	2019-II
143	Niquel	0,103	0,103	-0,085	0,143	-0,106	0,009	-0,087	0,021	-0,035	0,176	0,114	-0,068	-0,063	-0,038	0,050	-0,132	0,105	2019-II
144	Plata	-0,023	-0,023	0,008	0,085	-0,060	-0,092	-0,081	-0,111	-0,046	-0,084	0,058	-0,002	-0,046	0,101	-0,032	0,172	-0,152	2019-II
145	Plomo	-0,033	-0,033	0,097	.259**	-.237*	-.240*	-0,192	-.314**	-0,130	-0,174	0,013	-0,070	-0,127	.322**	0,013	0,129	-0,131	2019-II
146	Potasio	.707**	.707**	0,094	-0,022	-0,066	0,118	-0,026	-0,098	-0,052	-0,143	.748**	-0,052	-0,003	-0,042	.336**	0,186	-.335**	2019-II
147	Selenio	-0,039	-0,039	0,015	-0,031	0,011	0,039	-0,022	0,029	-0,088	-0,135	-0,029	-0,062	-0,090	-0,012	-0,013	0,142	-0,131	2019-II
148	Silicio	.292**	.292**	-.279*	-.286**	.314**	.376**	.282*	.466**	-.297**	0,143	.285**	-.324**	-.316**	-.480**	0,080	0,056	-0,091	2019-II
149	Sodio	.581**	.581**	.307**	-0,037	-0,146	0,065	-0,001	-0,124	.484**	0,010	.567**	.227*	.228*	-0,022	.412**	0,131	-.317**	2019-II
150	Talio	-0,040	-0,040	0,065	0,169	-0,154	-0,159	-0,127	-0,196	-0,078	-0,133	0,028	-0,025	-0,081	0,195	-0,013	0,169	-0,158	2019-II
151	Titanio	-0,007	-0,007	-0,199	0,060	0,001	0,125	-0,011	0,106	-0,066	0,168	-0,019	-0,078	-0,060	-0,094	-0,071	-0,155	0,183	2019-II
152	Uranio	-0,096	-0,096	.283**	.302**	-.360**	-.301**	-0,187	-.389**	0,214	-0,070	-0,092	0,073	.401**	.394**	0,040	-0,020	0,001	2019-II
153	Vanadio	0,023	0,023	-0,176	-0,079	0,120	0,161	0,052	0,195	-0,110	0,191	0,040	-0,120	-0,103	-0,189	0,007	0,066	-0,067	2019-II
154	Zinc	0,086	0,086	0,016	0,106	-0,088	-0,087	-0,116	-0,174	-0,079	-0,097	0,164	-0,027	-0,081	0,146	0,052	0,179	-0,196	2019-II
155	Colifor_Termotolerantes	.770**	.770**	-0,065	-0,192	0,123	.329**	0,055	0,028	-0,051	-0,090	.746**	-0,038	-0,051	-0,169	.338**	0,012	-0,167	2019-II
156	Escherichia_Coli	.779**	.779**	-0,062	-0,194	0,122	.330**	0,062	0,029	-0,051	-0,091	.755**	-0,039	-0,052	-0,172	.344**	0,012	-0,170	2019-II

Tabla 52. Correlación de Pearson de la campaña 2019-IV, serie de datos 4.

ID	PMECA	Densidad Poblacional	Densidad Poblacional Normalizada	Erosión Ligera	Erosión Moderada	Erosión Acusada	Erosión Alta	Erosión Muy Alta	UAT Bosque	UAT Vegetación Inundada	UAT Cultivo	UAT Urbano	UAT Suelo Desnudo	UAT Glaciar	UAT Pastizal	Geo Bajo	Geo Medio	Geo Alto	Serie
157	ICARHS	,291**	,291**	-0,129	-0,185	0,211	0,145	0,146	0,208	-0,201	-0,125	,354**	-0,138	-0,147	-0,116	-0,164	-0,065	0,138	2019-IV
158	Aceites_Grasas	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	2019-IV
159	Amoniaco_N	-0,002	-0,002	0,037	0,103	-0,081	-0,131	-0,100	-0,147	-0,047	-0,114	0,080	0,010	-0,054	0,131	-0,026	0,209	-0,191	2019-IV
160	Cloruros	0,056	0,056	,325**	-0,033	-0,106	-0,087	-0,122	0,066	0,199	-0,036	0,044	0,090	0,050	-0,087	0,176	-0,022	-0,060	2019-IV
161	Conductividad	0,140	0,140	,351**	0,135	,261**	-0,184	-0,213	,340**	0,102	-0,193	0,213	0,070	0,049	,289**	0,039	,378**	,383**	2019-IV
162	DBO5	,619**	,619**	-0,054	-0,105	0,067	0,212	-0,024	-0,048	-0,075	-0,134	,643**	-0,038	-0,075	-0,073	,240*	0,123	,230*	2019-IV
163	DQO	,510**	,510**	0,108	0,017	-0,082	0,022	-0,038	-0,124	-0,018	-0,111	,535**	0,011	0,010	0,018	,243*	0,179	,285**	2019-IV
164	Detergentes_SAAM	,700**	,700**	-0,058	-0,128	0,078	,255**	-0,025	-0,042	-0,068	-0,134	,705**	-0,029	-0,065	-0,093	,285**	0,096	,224*	2019-IV
165	Fosforo_total	,304**	,304**	0,005	0,084	-0,094	0,010	0,023	-0,060	-0,065	-0,085	,332**	-0,065	-0,036	0,003	0,077	0,147	-0,177	2019-IV
166	Nitratos_NO3	-0,122	-0,122	0,155	,262**	,251*	,303**	-0,128	,341**	-0,176	-0,082	-0,088	-0,156	-0,120	,378**	-0,011	0,173	-0,162	2019-IV
167	Nitratos_N	-0,122	-0,122	0,154	,262**	,251*	,303**	-0,128	,341**	-0,176	-0,082	-0,088	-0,156	-0,120	,378**	-0,012	0,173	-0,162	2019-IV
168	Nitrogeno_total	,296**	,296**	-0,007	0,025	-0,028	0,024	0,023	-0,124	-0,077	-0,125	,361**	-0,030	-0,075	0,058	0,107	0,180	,224*	2019-IV
169	OD	-,401**	-,401**	-,464**	-,269*	,385**	,400**	,365**	,632**	-0,185	,251*	-,418**	-,259*	-0,166	-,516**	-,440**	0,009	0,194	2019-IV
170	pH	-0,205	-0,205	,397**	,594**	-,618**	-,610**	-,344**	-,692**	,315**	0,202	-,234*	,271*	,347**	,694**	0,064	-0,161	0,127	2019-IV
171	SST	-0,102	-0,102	-0,113	,248*	-0,165	-0,103	0,043	0,007	0,048	0,185	-0,136	-0,055	0,122	0,023	-0,130	-0,160	0,214	2019-IV
172	Sulfatos	-0,056	-0,056	,223*	,237*	-,267*	-,281*	-,235*	-,353**	-0,033	-0,207	-0,018	-0,038	-0,072	,363**	-0,079	0,198	-0,155	2019-IV
173	Sulfuros	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	2019-IV
174	Temperatura	,252*	,252*	-,259*	-,637**	,553**	,707**	,542**	,828**	-,224*	0,093	,276*	-,262*	-,227*	-,844**	-0,098	,328**	-,272*	2019-IV
175	Aluminio	-0,095	-0,095	-0,089	0,198	-0,141	-0,060	0,092	0,098	0,022	0,139	-0,135	-0,062	0,088	-0,066	-0,118	-0,126	0,176	2019-IV
176	Antimonio	-0,066	-0,066	0,145	,256**	-,243*	-,287**	-0,211	-,360**	-0,062	-0,169	-0,047	-0,054	-0,039	,376**	-0,068	0,150	-0,113	2019-IV
177	Arsénico	-0,087	-0,087	0,113	,358**	-,314**	-,339**	-,221*	-,383**	0,055	-0,070	-0,044	0,014	0,146	,387**	-0,088	0,103	-0,059	2019-IV
178	Bario	-0,023	-0,023	0,025	0,045	-0,076	0,037	0,188	0,170	0,003	0,068	-0,065	-0,071	0,044	-0,149	-0,089	0,082	-0,039	2019-IV
179	Berilio	-0,098	-0,098	-0,005	0,136	-0,124	-0,051	0,105	0,073	0,033	0,116	-0,133	-0,035	0,116	-0,045	-0,090	-0,024	0,064	2019-IV
180	Bismuto	-0,015	-0,015	0,042	0,163	-0,124	-0,191	-0,163	-,249*	-0,082	-0,145	0,055	-0,035	-0,074	,244*	-0,079	,227*	-0,183	2019-IV
181	Boro	-0,110	-0,110	0,149	0,106	-0,173	-0,040	-0,131	-0,218	0,166	-0,171	-0,137	0,061	,255*	,237*	-0,147	0,060	0,009	2019-IV
182	Cadmio	-0,064	-0,064	0,090	0,190	-0,165	-,233*	-0,146	-,264*	-0,093	-0,141	-0,006	-0,049	-0,081	,273*	-0,097	,222*	-0,169	2019-IV
183	Calcio	-0,030	-0,030	,325**	0,134	-,237*	-0,215	-0,112	-,241*	0,068	-0,177	0,004	0,084	0,080	,231*	-0,044	,385**	-,352**	2019-IV
184	Cobalto	-0,098	-0,098	-0,081	,258**	-0,191	-0,106	0,045	0,013	0,050	0,152	-0,136	-0,053	0,111	0,017	-0,107	-0,191	,234*	2019-IV
185	Cobre	-0,066	-0,065	-0,024	,303**	-,231*	-0,209	-0,113	-0,188	-0,056	-0,065	-0,031	-0,077	-0,040	0,203	-0,141	0,049	0,017	2019-IV
186	Cromo_total	-0,091	-0,091	-0,174	,298**	-0,188	-0,094	0,062	0,065	0,022	0,163	-0,128	-0,088	0,056	-0,032	-0,166	-,245*	,313**	2019-IV
187	Estaño	,226*	,226*	-0,045	0,170	-0,139	-0,044	-0,012	-0,044	-0,116	0,053	,237*	-0,106	-0,070	0,010	0,017	0,031	-0,038	2019-IV
188	Estroncio	0,047	0,047	,431**	0,114	-,274*	-0,206	-0,173	-,311**	,262*	-0,169	0,068	,455**	,240*	,241*	0,010	,346**	-,339**	2019-IV
189	Hierro	-0,098	-0,098	-0,080	,296**	-0,217	-0,146	-0,001	-0,030	0,056	0,147	-0,124	-0,042	0,134	0,056	-0,109	-0,182	,226*	2019-IV
190	Litio	-0,117	-0,117	,322**	,426**	-,478**	-,395**	-0,185	-,380**	,376**	0,045	-0,154	0,108	,574**	,389**	-0,057	-0,121	0,143	2019-IV
191	Magnesio	-0,075	-0,074	0,219	,385**	-,400**	-,337**	-0,197	-,351**	0,083	-0,072	-0,033	0,011	0,096	,354**	-0,095	0,104	-0,057	2019-IV
192	Manganeso	-0,083	-0,083	0,021	0,168	-0,156	-0,096	0,069	0,004	0,008	0,046	-0,091	-0,057	0,058	0,020	-0,096	0,023	0,022	2019-IV
193	Mercurio	-0,032	-0,032	0,050	0,104	-0,083	-0,146	-0,127	-0,186	-0,071	-0,118	-0,008	-0,040	-0,072	0,194	-0,083	0,161	-0,118	2019-IV
194	Molibdeno	-0,049	-0,049	0,172	,277*	-,278*	-,289**	-0,201	-,362**	-0,021	-0,154	-0,037	-0,014	-0,020	,371**	-0,045	0,152	-0,126	2019-IV
195	Niquel	-0,100	-0,100	-0,104	,293**	-0,209	-0,127	0,038	0,009	0,063	0,161	-0,137	-0,056	0,112	0,022	-0,125	-,225*	,275*	2019-IV
196	Plata	,474**	,474**	0,001	-0,012	-0,098	0,078	-0,098	-0,168	-0,087	-0,157	,478**	-0,056	-0,080	0,081	0,158	0,133	-0,201	2019-IV
197	Plomo	-0,056	-0,056	0,079	0,206	-0,172	-,241*	-0,173	-,288**	-0,087	-0,141	-0,035	-0,061	-0,076	,303**	-0,108	0,157	-0,102	2019-IV
198	Potasio	0,151	0,151	0,014	,245*	-,228*	-0,105	-0,026	-0,070	-0,022	-0,032	0,147	-0,079	0,051	0,050	-0,035	0,052	-0,034	2019-IV
199	Selenio	-0,091	-0,091	0,134	0,218	-,230*	-0,197	-0,080	-0,196	-0,063	-0,116	-0,103	-0,068	-0,028	,225*	-0,063	0,121	-0,088	2019-IV
200	Silicio	-0,035	-0,035	-0,156	0,157	-0,086	0,007	0,149	0,166	-0,023	0,171	-0,075	-0,114	0,047	-0,139	-0,130	-0,098	0,154	2019-IV
201	Sodio	,368**	,368**	,400**	0,035	-,235*	-0,034	-0,118	-,223*	,535**	-0,025	,371**	,267*	0,180	0,111	,289**	0,143	-,271*	2019-IV
202	Talio	-0,103	-0,103	0,101	,396**	-,340**	-,363**	-,221*	-,364**	-0,071	-0,156	-0,085	-0,063	-0,019	,389**	-0,088	0,066	-0,024	2019-IV
203	Titanio	-0,075	-0,075	-,289**	,236*	-0,099	0,016	0,031	0,193	-0,037	0,080	-0,112	-0,088	-0,015	-0,160	-0,207	-,287**	,373**	2019-IV
204	Uranio	-0,053	-0,053	0,018	,326**	-,296**	-0,158	0,013	-0,104	-0,031	0,012	-0,079	-0,110	0,050	0,132	-0,138	-0,026	0,089	2019-IV
205	Vanadio	-0,098	-0,098	-0,129	,229*	-0,155	-0,053	0,082	0,086	0,031	0,192	-0,138	-0,062	0,097	-0,055	-0,135	-0,161	0,218	2019-IV
206	Zinc	-0,005	-0,005	0,024	0,171	-0,131	-0,173	-0,117	-,224*	-0,066	-0,107	0,061	-0,034	-0,053	0,217	-0,070	0,166	-0,128	2019-IV
207	Colifor_Termotolerantes	0,069	0,069	-0,011	0,059	-0,025	-0,087	-0,087	-0,115	-0,054	-0,050	0,162	-0,021	-0,032	0,086	0,011	0,174	-0,174	2019-IV
208	Escherichia_Coli	0,001	0,001	0,011	0,118	-0,090	-0,109	-0,077	-0,133	0,012	0,053	0,034	0,005	0,049	0,124	0,026	0,035	-0,046	2019-IV

Tabla 53. Correlación de Pearson de la campaña 2020-II, serie de datos 5.

ID	PMECA	Densidad Poblacional	Densidad Poblacional Normalizada	Erosión Ligera	Erosión Moderada	Erosión Acusada	Erosión Alta	Erosión Muy Alta	UAT Bosque	UAT Vegetación Inundada	UAT Cultivo	UAT Urbano	UAT Suelo Desnudo	UAT Glaciar	UAT Pastizal	Geo Bajo	Geo Medio	Geo Alto	Serie
209	ICARHS	,349**	,349**	-0,027	-0,191	0,137	,267*	-0,026	0,048	0,073	-0,146	-,410**	-0,001	-0,018	0,041	-0,197	0,041	0,051	2020-II
210	Aceites_Grasas	-0,023	-0,023	-0,068	-0,073	0,045	,244*	-0,066	-0,111	-0,042	-0,089	0,044	-0,022	-0,046	0,106	-0,032	0,172	-0,152	2020-II
211	Amoniaco_N	0,044	0,044	-0,053	-0,074	0,040	,238*	-0,067	-0,111	-0,048	-0,094	0,110	-0,028	-0,049	0,094	0,001	0,177	-0,172	2020-II
212	Cloruros	-0,025	-0,025	,447**	0,018	-0,216	-0,162	-0,115	-0,087	,747**	-0,052	-0,046	,378**	0,197	0,048	0,215	0,026	-0,124	2020-II
213	Conductividad	-0,063	-0,063	0,072	-,486**	,386**	,270*	-0,175	-,479**	,364**	-0,189	-0,022	0,173	0,119	,461**	-0,024	,222*	-0,203	2020-II
214	DBO5	,391**	,391**	-0,017	-0,058	0,017	0,195	-0,097	-0,086	-0,065	-0,117	,435**	-0,046	-0,070	0,004	0,155	0,164	-,230*	2020-II
215	DQO	,451**	,451**	0,085	0,027	-0,098	0,095	-0,085	-0,003	-0,092	-0,104	,550**	-0,098	-0,120	-0,096	0,153	0,159	-,224*	2020-II
216	Detergentes_SAAM	-0,025	-0,025	-0,069	-0,071	0,047	,234*	-0,069	-0,120	-0,040	-0,080	0,042	-0,003	-0,042	0,113	-0,018	0,174	-0,160	2020-II
217	Fosforo_total	-0,036	-0,036	-0,079	-0,073	0,053	,239*	-0,078	-0,122	-0,042	-0,082	0,033	-0,031	-0,048	0,120	-0,034	0,162	-0,141	2020-II
218	Nitratos_NO3	-0,034	-0,034	-0,124	-,300**	,304**	,258*	-0,067	-,320**	-0,156	0,031	0,005	-0,115	-0,125	,330**	0,079	0,087	-0,120	2020-II
219	Nitratos_N	-0,034	-0,034	-0,124	-,300**	,304**	,258*	-0,067	-,320**	-0,156	0,032	0,005	-0,115	-0,125	,330**	0,079	0,087	-0,120	2020-II
220	Nitrogeno_total	0,060	0,060	-0,052	-0,096	0,057	,255*	-0,074	-0,133	-0,057	-0,098	0,129	-0,032	-0,058	0,111	0,015	0,189	-0,189	2020-II
221	OD	-,349**	-,349**	-0,121	,443**	-,352**	-0,133	0,167	,551**	-0,159	0,171	-,419**	-0,209	-0,105	-,438**	-,414**	0,014	0,177	2020-II
222	pH	-0,181	-0,181	-0,160	-,251**	,328**	0,060	-0,038	-,404**	0,095	0,106	-,241*	0,146	,228*	,430**	-0,069	-0,004	0,036	2020-II
223	SST	0,125	0,125	0,009	0,165	-0,146	-0,098	-0,056	0,080	0,030	0,053	0,115	-0,052	-0,008	-0,098	0,001	-0,089	0,086	2020-II
224	Sulfatos	-0,100	-0,100	-0,049	-,339**	,301**	,268*	-0,128	-,391**	0,025	-0,157	-0,075	-0,040	-0,034	,411**	-0,075	0,178	-0,138	2020-II
225	Sulfuros	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	2020-II
226	Temperatura	0,119	0,119	0,158	,334**	-,377**	-0,198	,244*	,752**	-0,196	0,018	0,162	-0,204	-0,139	-,753**	-0,156	,315**	-,233*	2020-II
227	Aluminio	,279*	,279*	0,020	0,212	-0,190	-0,127	-0,082	0,112	0,023	0,010	,253*	-0,062	-0,027	-0,157	0,049	-0,091	0,066	2020-II
228	Antimonio	-0,038	-0,038	-0,082	-,239**	,229*	,222*	-0,077	-,298**	-0,046	-0,080	-0,043	-0,028	-0,034	,310**	0,031	0,057	-0,070	2020-II
229	Arsénico	-0,057	-0,057	-0,084	-,264*	,254*	,231*	-0,147	-,413**	0,167	-0,109	-0,064	0,069	,291**	,415**	-0,048	0,014	0,008	2020-II
230	Bario	0,029	0,029	0,069	0,172	-0,182	-0,111	-0,055	0,163	0,057	-0,021	0,003	-0,077	0,009	-0,154	-0,113	0,181	-0,123	2020-II
231	Berilio	-0,042	-0,042	0,004	0,070	-0,054	-0,068	-0,037	0,013	0,045	0,092	-0,058	-0,013	0,038	-0,002	-0,044	-0,103	0,120	2020-II
232	Bismuto	0,032	0,032	-0,073	-0,077	0,053	,242*	-0,078	-0,110	-0,042	-0,099	0,097	-0,027	-0,047	0,095	-0,016	0,169	-0,156	2020-II
233	Boro	-0,133	-0,133	-0,096	-,510**	,483**	,334**	-0,149	-,552**	0,153	-0,181	-0,173	0,071	,421**	,576**	-0,051	-0,123	0,142	2020-II
234	Cadmio	0,003	0,003	-0,070	-,256**	,237*	,231*	-0,077	-0,214	-0,094	-0,059	0,030	-0,065	-0,097	0,216	0,078	0,058	-0,093	2020-II
235	Calcio	-0,088	-0,088	0,030	-,333**	,258*	,243*	-0,092	-,328**	0,062	-0,194	-0,032	0,050	0,062	,330**	-0,104	,381**	-,321**	2020-II
236	Cobalto	0,014	0,014	-0,076	0,184	-0,111	-0,119	-0,081	0,029	0,080	0,010	-0,005	-0,046	-0,009	-0,024	-0,066	-0,199	,223*	2020-II
237	Cobre	-0,020	-0,020	-0,086	-0,097	0,111	0,129	-0,070	-0,162	-0,043	-0,061	-0,022	-0,054	-0,080	0,173	0,003	-0,008	0,006	2020-II
238	Cromo_total	0,048	0,048	-0,079	,229*	-0,159	-0,110	-0,063	0,105	0,082	-0,065	0,032	-0,045	-0,045	-0,105	-0,087	-0,180	0,214	2020-II
239	Estaño	-0,083	-0,083	0,099	0,093	-0,112	-0,135	0,032	,286**	-0,031	-0,116	0,038	-0,065	0,007	-,281*	-0,182	,331**	-,236*	2020-II
240	Estroncio	-0,112	-0,112	0,133	-,233**	0,149	0,064	-0,125	-,329**	,269*	-0,165	-0,076	,313**	,239*	,307**	-0,067	,349**	-,307**	2020-II
241	Hierro	0,150	0,150	-0,016	0,201	-0,160	-0,126	-0,086	0,089	0,048	0,019	0,139	-0,059	-0,008	-0,111	-0,009	-0,135	0,135	2020-II
242	Litio	-0,081	-0,081	0,110	-0,217	0,189	-0,093	-0,116	-,465**	,401**	-0,040	-0,112	0,208	,808**	,455**	0,052	-0,074	0,047	2020-II
243	Magnesio	-0,127	-0,127	-0,069	-,398**	,378**	,251*	-0,156	-,539**	0,132	-0,123	-0,117	-0,008	0,125	,560**	-0,096	0,076	-0,030	2020-II
244	Manganeso	-0,010	-0,010	-0,075	0,047	-0,029	0,091	-0,109	-0,028	-0,005	-0,050	0,023	-0,089	-0,069	0,034	-0,087	-0,015	0,055	2020-II
245	Mercurio	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	2020-II
246	Molibdeno	0,029	0,029	-0,058	-,240*	,232*	0,166	-0,074	-,306**	0,031	-0,071	0,006	-0,006	0,011	,304**	0,053	0,018	-0,042	2020-II
247	Niquel	0,002	0,002	-0,093	0,195	-0,119	-0,101	-0,072	0,059	0,081	-0,031	-0,012	-0,047	-0,030	-0,050	-0,086	-0,197	,230*	2020-II
248	Plata	-0,027	-0,027	0,040	-0,127	0,094	0,053	-0,049	0,119	-0,036	-0,011	0,109	-0,031	-0,033	-0,136	0,064	0,121	-0,146	2020-II
249	Plomo	0,001	0,001	-0,166	-,300**	,284*	,414**	-0,121	-,340**	-0,075	-0,137	0,036	-0,074	-0,077	,342**	-0,039	0,138	-0,116	2020-II
250	Potasio	,302**	,302**	0,041	-0,146	0,071	0,210	-0,140	-,229*	0,011	-0,133	,351**	-0,041	0,043	0,162	0,132	0,176	-,231*	2020-II
251	Selenio	-0,029	-0,029	-0,044	-0,087	0,097	0,057	-0,041	-0,144	-0,026	-0,012	-0,036	-0,018	-0,018	0,152	0,019	0,006	-0,015	2020-II
252	Silicio	,240*	,240*	-0,040	,300**	-,260*	-0,088	-0,013	,317**	-0,157	0,051	0,213	-,226*	-0,215	-,332**	-0,064	-0,030	0,059	2020-II
253	Sodio	0,010	0,010	,338**	-0,050	-0,108	-0,088	-0,101	-0,208	,870**	-0,046	-0,004	,440**	,257*	0,151	0,206	0,074	-0,167	2020-II
254	Talio	-0,060	-0,060	-0,087	-0,230*	,221*	,227*	-0,067	-,251**	-0,094	-0,061	-0,058	-0,063	-0,106	,270*	0,040	0,041	-0,058	2020-II
255	Titanio	0,124	0,124	-0,050	,272*	-0,206	-0,155	-0,066	0,124	0,064	0,021	0,102	-0,069	-0,048	-0,137	-0,046	-0,199	0,214	2020-II
256	Uranio	0,084	0,084	-0,044	-,288**	,277*	0,154	-0,090	-,374**	0,047	-0,037	0,075	-0,065	0,085	,362**	0,083	-0,072	0,031	2020-II
257	Vanadio	,305**	,305**	0,009	,241*	-0,211	-0,137	-0,073	0,139	0,011	0,015	,291**	-0,082	-0,057	-0,189	0,057	-0,092	0,063	2020-II
258	Zinc	0,112	0,112	-0,099	-,236*	0,212	,304**	-0,107	-,283**	-0,071	-0,113	0,144	-0,057	-0,057	,260*	0,057	0,130	-0,151	2020-II
259	Colifor_Termotolerantes	,795**	,795**	0,094	-0,020	-0,022	-0,028	-0,037	0,028	-0,048	-0,094	,758**	-0,039	-0,051	-0,177	,354**	0,008	-0,170	2020-II
260	Escherichia_Coli	,805**	,805**	0,103	-0,019	-0,028	-0,031	-0,032	0,030	-0,049	-0,096	,767**	-0,040	-0,052	-0,181	,360**	0,008	-0,173	2020-II

Tabla 54. Correlación de Pearson de la campaña 2021-I, serie de datos 6.

ID	PMECA	Densidad Poblacional	Densidad Poblacional Normalizada	Erosión Ligera	Erosión Moderada	Erosión Acusada	Erosión Alta	Erosión Muy Alta	UAT Bosque	UAT Vegetación Inundada	UAT Cultivo	UAT Urbano	UAT Suelo Desnudo	UAT Glaciar	UAT Pastizal	Geo Bajo	Geo Medio	Geo Alto	Serie
261	ICARHS	-,328**	-,328**	-0,106	-0,147	0,125	,240*	0,118	0,110	0,145	-,249*	-,426**	0,010	0,026	-0,023	-,280*	-0,105	,230*	2021-I
262	Aceites_Grasas	,616**	,616**	0,074	0,047	-0,074	-0,036	-0,097	-0,010	-0,083	-0,125	,641**	-0,042	-0,083	-0,109	,229*	0,164	-,264*	2021-I
263	Amoniaco_N	0,098	0,098	-0,012	-0,028	0,031	0,018	-0,053	-0,109	-0,052	-0,095	0,177	-0,007	-0,052	0,076	0,030	0,176	-0,184	2021-I
264	Cloruros	0,141	0,141	,426**	0,069	-,243*	-0,165	-0,135	-0,059	,429**	-0,043	0,138	0,215	0,200	0,002	,249*	0,061	-0,173	2021-I
265	Conductividad	0,176	0,176	0,186	0,046	-0,065	-,227*	-,256*	-,308**	0,134	-0,192	,253*	0,094	0,116	,246*	0,059	,400**	-,414**	2021-I
266	DBO5	,310**	,310**	0,005	-0,011	0,010	0,001	-0,075	-0,090	-0,053	-0,123	,374**	-0,008	-0,065	0,018	0,114	0,176	-,222*	2021-I
267	DQO	,288**	,287**	0,031	-0,003	-0,020	0,021	-0,021	-0,037	-0,072	-0,127	,352**	-0,031	-0,084	-0,026	0,094	0,217	-,253*	2021-I
268	Detergentes_SAAM	-0,037	-0,037	0,187	0,099	-0,170	-0,094	-0,079	-0,086	0,155	-0,051	-0,059	,885**	,264*	-0,010	-0,047	0,206	-0,177	2021-I
269	Fosforo_total	,439**	,439**	0,030	0,023	-0,036	-0,008	-0,052	0,019	-0,089	-0,145	,495**	-0,053	-0,101	-0,107	0,136	0,216	-,271*	2021-I
270	Nitratos_NO3	-0,124	-0,124	-0,123	-0,130	,236*	-0,091	-0,171	-,402**	-0,142	-0,070	-0,094	-0,102	-0,105	,433**	0,013	0,120	-0,123	2021-I
271	Nitratos_N	-0,123	-0,123	-0,123	-0,130	,236*	-0,091	-0,171	-,402**	-0,142	-0,070	-0,094	-0,102	-0,105	,433**	0,013	0,120	-0,123	2021-I
272	Nitrogeno_total	,283*	,283*	0,006	-0,021	0,022	-0,005	-0,066	-0,117	-0,070	-0,111	,352**	-0,023	-0,070	0,051	0,118	0,176	-,224*	2021-I
273	OD	-,462**	-,462**	-,473**	-0,033	,240*	0,139	0,110	-0,085	-0,150	,249*	-,512**	0,001	-0,124	0,183	-,237*	-,317**	,415**	2021-I
274	pH	-,248*	-,248*	-0,074	-0,088	0,217	-,231*	-,253*	-,641**	,281*	0,000	-,287**	0,211	,304**	,665**	-0,050	-0,047	0,068	2021-I
275	SST	-0,046	-0,046	-0,075	-0,128	0,001	-0,038	-0,020	,297**	-0,053	0,049	-0,059	-0,086	-0,090	-,273*	-0,137	0,169	-0,101	2021-I
276	Sulfatos	-0,063	-0,063	-0,018	-0,077	0,120	-0,076	-0,178	-,403**	-0,042	-,252*	-0,009	-0,042	-0,057	,412**	-0,071	,246*	-0,205	2021-I
277	Sulfuros	-0,023	-0,023	-0,045	-0,029	0,045	0,030	-0,055	-0,111	-0,046	-0,084	0,058	-0,002	-0,046	0,101	-0,032	0,172	-0,152	2021-I
278	Temperatura	,234*	,234*	0,022	0,175	-,268*	0,196	,287**	,828**	-,316**	0,122	,279*	-,311**	-,264*	-,839**	-0,139	,355**	-,279*	2021-I
279	Aluminio	-0,067	-0,067	-0,068	0,184	-0,140	-0,041	-0,019	,350**	-0,061	0,188	-0,087	-0,113	-0,111	-,319**	-0,130	0,096	-0,033	2021-I
280	Antimonio	-0,036	-0,036	-0,076	-0,131	0,182	-0,009	-0,104	-,315**	-0,072	-0,187	-0,017	-0,047	-0,061	,325**	-0,054	0,162	-0,132	2021-I
281	Arsénico	-0,070	-0,070	0,001	-0,077	0,105	-0,064	-0,148	-,418**	0,087	-0,106	-0,025	0,043	0,178	,415**	-0,032	0,168	-0,148	2021-I
282	Bario	0,192	0,192	0,110	,220*	-,245*	-0,126	-0,037	,332**	-0,022	-0,023	0,159	-0,121	-0,051	-,346**	-0,059	,371**	-,331**	2021-I
283	Berilio	-0,041	-0,041	-0,031	0,069	-0,040	-0,043	-0,016	,232*	-0,060	-0,029	-0,054	-0,052	-0,060	-0,212	-0,099	0,207	-0,155	2021-I
284	Bismuto	0,050	0,050	-0,069	-0,112	0,144	0,033	-0,073	-0,156	-0,070	-0,126	0,105	-0,029	-0,070	0,140	-0,068	,222*	-0,183	2021-I
285	Boro	-0,087	-0,087	0,167	-0,032	0,010	-0,187	-0,162	-,535**	,357**	-0,029	-0,098	0,142	,655**	,529**	0,073	0,008	-0,041	2021-I
286	Cadmio	-0,060	-0,060	-0,088	-0,095	0,143	0,015	-0,100	-,300**	-0,120	-0,195	0,000	-0,053	-0,125	-,309**	-0,023	0,188	-0,172	2021-I
287	Calcio	0,033	0,033	0,126	0,045	-0,031	-,228*	-,265*	-,310**	0,047	-,279*	0,095	0,050	0,063	,287**	-0,036	,430**	-,399**	2021-I
288	Cobalto	-0,067	-0,067	-0,111	,221*	-0,145	-0,070	-0,037	0,181	-0,061	,374**	-0,085	-0,126	-0,129	-0,153	-0,029	-0,021	0,034	2021-I
289	Cobre	-0,016	-0,016	-0,110	-0,065	0,128	0,004	-0,109	-0,186	-0,103	-0,122	0,035	-0,078	-0,133	0,190	-0,090	0,209	-0,160	2021-I
290	Cromo_total	-0,073	-0,073	-0,118	0,032	0,047	-0,041	-0,102	-0,066	-0,084	0,032	-0,058	-0,114	-0,134	0,091	-0,112	0,092	-0,037	2021-I
291	Estaño	-0,033	-0,033	-0,126	-0,096	0,155	0,037	0,019	-0,044	-0,059	-0,032	-0,044	-0,031	-0,063	0,058	-0,060	-0,061	0,087	2021-I
292	Estroncio	0,077	0,077	,237**	0,149	-0,178	-,289**	-,285*	-,284*	0,203	-,240*	0,118	,311**	,221*	,223*	-0,003	,447**	-,431**	2021-I
293	Hierro	-0,073	-0,073	-0,062	,227*	-0,185	-0,047	-0,044	-,313**	-0,049	,244*	-0,072	-0,131	-0,125	-,284*	-0,130	0,022	0,039	2021-I
294	Litio	-0,086	-0,086	0,213	0,002	-0,038	-,220*	-0,155	-,473**	,473**	0,005	-0,110	0,191	,794**	,462**	0,049	-0,040	0,016	2021-I
295	Magnesio	-0,020	-0,020	0,036	-0,002	0,058	-0,204	-,260*	-,458**	0,057	-0,185	0,039	-0,018	0,076	-,452**	-0,039	0,216	-0,191	2021-I
296	Manganeso	0,011	0,011	-0,019	0,047	-0,045	0,021	-0,056	0,083	-0,141	-0,079	0,082	-0,127	-0,177	-0,080	-0,096	,293**	-,239*	2021-I
297	Mercurio	-0,017	-0,017	-0,060	-0,113	0,140	0,032	-0,045	-0,111	-0,046	-0,084	0,011	-0,023	-0,046	0,113	-0,098	0,164	-0,113	2021-I
298	Molibdeno	-0,018	-0,018	-0,034	-0,121	0,168	-0,063	-0,132	-,395**	-0,007	-0,089	-0,004	-0,12	0,000	,396**	0,003	0,179	-0,174	2021-I
299	Niquel	-0,034	-0,034	-0,103	,262*	-0,180	-0,100	-0,069	,223*	-0,019	-,285**	-0,052	-0,124	-0,115	-0,200	-0,074	-0,071	0,103	2021-I
300	Plata	-0,026	-0,026	-0,075	-0,114	0,145	0,042	-0,065	-0,152	-0,063	-0,114	0,037	-0,022	-0,063	0,148	-0,102	,227*	-0,173	2021-I
301	Plomo	-0,072	-0,072	-0,109	-0,108	0,161	0,034	-0,089	-,256*	-0,131	-0,148	-0,028	-0,094	-0,151	,275*	-0,076	0,218	-0,176	2021-I
302	Potasio	,412**	,412**	0,081	0,010	-0,031	-0,060	-0,084	-0,114	-0,069	-0,120	,470**	-0,066	-0,038	0,030	0,146	,264*	-,322**	2021-I
303	Selenio	-0,027	-0,027	-0,096	-0,088	0,138	0,019	-0,044	-0,020	-0,062	-0,111	-0,005	-0,037	-0,062	0,028	-0,136	,241*	-0,170	2021-I
304	Silicio	0,109	0,109	-0,098	0,212	-0,179	0,027	0,113	,511**	-0,218	,233*	0,093	-,259*	-,233*	-,496**	-0,052	0,177	-0,147	2021-I
305	Sodio	,370**	,370**	-,298**	0,031	-0,143	-0,140	-0,119	-,221*	,466**	-0,018	,386**	,228*	,227*	0,111	,289**	0,186	-,313**	2021-I
306	Talio	-0,068	-0,068	-0,094	-0,116	0,174	-0,001	-0,104	-,344**	-0,136	-0,216	-0,041	-0,075	-0,143	,364**	-0,017	0,150	-0,138	2021-I
307	Titanio	-0,082	-0,082	-0,085	,254*	-0,196	-0,060	-0,030	,253*	-0,037	,438**	-0,102	-0,125	-0,106	-,222*	-0,055	-0,130	0,151	2021-I
308	Uranio	-0,019	-0,019	-0,017	-0,035	0,104	-0,155	-0,219*	-,340**	-0,021	-0,029	-0,004	-0,070	-0,056	,347**	0,016	0,128	-0,131	2021-I
309	Vanadio	-0,047	-0,047	-0,076	,252*	-0,197	-0,066	-0,031	,386**	-0,069	,294**	-0,070	-0,154	-0,134	-,355**	-0,110	0,074	-0,021	2021-I
310	Zinc	-0,020	-0,020	-0,063	-0,075	0,102	0,036	-0,079	-,232*	-0,090	-0,173	0,046	0,004	-0,103	,225*	-0,018	0,207	-0,192	2021-I
311	Colifor_Termotolerantes	0,182	0,182	0,005	-0,008	0,026	-0,058	-0,061	-0,128	0,022	0,016	0,194	0,005	0,066	0,088	0,105	0,015	-0,063	2021-I
312	Escherichia_Coli	,259*	,259*	0,023	0,009	0,004	-0,070	-0,068	-0,116	0,014	0,022	,266*	-0,003	0,059	0,062	0,138	0,021	-0,084	2021-I

Tabla 55. Correlación de Pearson de la época de Estiaje, serie de datos 7.

ID	PMECA	Densidad Poblacional	Densidad Poblacional Normalizada	Erosión Ligera	Erosión Moderada	Erosión Acusada	Erosión Alta	Erosión Muy Alta	UAT Bosque	UAT Vegetación Inundada	UAT Cultivo	UAT Urbano	UAT Suelo Desnudo	UAT Glaciar	UAT Pastizal	Geo Bajo	Geo Medio	Geo Alto	Serie
313	ICARHS	,352**	,352**	-0,009	0,022	-0,042	0,043	0,060	0,052	0,123	-,146*	-,444**	-0,050	-0,027	0,044	-,275**	-,166**	,287**	Estiaje
314	Aceites_Grasas	,642**	,643**	-0,010	-0,034	-0,003	0,101	-0,049	-0,022	-0,061	-0,121	,661**	-0,039	-0,067	-0,103	,259**	0,112	-,227**	Estiaje
315	Amoniaco_N	,184**	,186**	-0,021	-0,042	0,014	0,095	-0,051	-0,083	-0,049	-0,098	,256**	-0,018	-0,053	0,037	0,070	,157*	-,184**	Estiaje
316	Cloruros	,136*	,136*	,378**	0,025	-,173**	-0,062	-0,123	-0,071	,476**	0,001	0,124	,369**	,257**	-0,004	,228**	0,065	-,168**	Estiaje
317	Conductividad	0,076	0,076	-0,011	-,268**	,181**	,290**	-0,121	-,359**	0,069	-0,009	0,101	0,039	0,094	,331**	0,042	,137*	-,152**	Estiaje
318	DBO5	,587**	,589**	-0,005	-0,025	-0,007	0,083	-0,058	-0,026	-0,059	-0,124	,616**	-0,032	-0,069	-0,090	,252**	,129*	-,240**	Estiaje
319	DQO	,499**	,502**	0,009	0,008	-0,038	0,053	-0,037	-0,029	-0,083	-,134*	,550**	-0,049	-0,084	-0,072	,225**	,170**	-,268**	Estiaje
320	Detergentes_SAAM	,516**	,520**	-0,026	-0,064	0,035	0,106	0,016	0,023	-0,030	-0,063	,502**	-0,027	-0,033	-0,118	,226**	0,015	-0,118	Estiaje
321	Fosforo_total	,535**	,543**	-0,034	-0,059	0,037	0,100	0,017	0,036	-0,070	-,129**	,560**	-0,059	-0,085	-0,137*	,206**	,132*	-,222**	Estiaje
322	Nitratos_NO3	-,154*	-,154*	-0,065	-0,045	0,096	-0,020	-,179**	-,413**	-0,119	0,004	-0,122	-,128*	-0,110	,453**	0,008	0,064	-0,066	Estiaje
323	Nitratos_N	-,156*	-,156*	-0,063	-0,045	0,095	-0,021	-,183**	-,421**	-0,122	0,001	-0,125	-,131*	-0,113	,462**	0,012	0,060	-0,063	Estiaje
324	Nitrogeno_total	0,003	0,003	-0,070	-0,096	0,098	0,087	,261**	0,094	-0,026	-0,053	0,004	-0,022	-0,028	-0,090	-0,038	-0,013	0,030	Estiaje
325	OD	-,433**	-,435**	-,411**	-,284**	,393**	,264**	,147*	,142*	-0,035	,224**	-,476**	-0,066	-0,031	-0,042	-,272**	-0,093	,215**	Estiaje
326	pH	-,231**	-,231**	0,051	0,007	0,001	-0,056	-,330**	-,615**	,258**	0,054	-,247**	,193**	,255**	,634**	0,001	-0,048	0,046	Estiaje
327	SST	0,015	0,015	-0,022	,137*	-0,101	-0,099	-0,046	-,176**	-0,055	0,030	0,015	-0,071	-0,069	-,170**	-0,048	0,102	-0,076	Estiaje
328	Sulfatos	-0,065	-0,065	0,112	0,017	-0,053	-0,032	-,209**	-,410**	0,035	-,199**	-0,020	-0,031	-0,023	,419**	-0,057	,187**	-,154**	Estiaje
329	Sulfuros	,614**	,621**	0,057	-0,029	-0,025	0,063	0,070	0,013	-0,057	-0,110	,632**	-0,040	-0,062	-,132*	,294**	0,082	-,215**	Estiaje
330	Temperatura	,228**	,229**	-0,027	0,032	-0,016	-0,034	,393**	,800**	-,217**	0,114	,623**	-,279**	-,228**	-,815**	-0,068	,310**	-,268**	Estiaje
331	Aluminio	-0,038	-0,038	-0,023	,178**	-,131*	-,132*	-0,057	,205**	-0,062	0,116	-0,045	-0,086	-0,083	-,186**	-0,047	0,045	-0,021	Estiaje
332	Antimonio	-0,055	-0,055	0,012	-0,012	0,016	-0,010	-,138*	-,346**	-0,025	-,130*	-0,049	-0,033	-0,017	,361**	-0,023	0,090	-0,077	Estiaje
333	Arsénico	-0,060	-0,060	0,113	0,063	-0,097	-0,051	-,222**	-,504**	0,105	-0,078	-0,042	0,062	,220**	,503**	0,041	0,079	-0,095	Estiaje
334	Bario	,290**	,290**	,136*	0,083	-0,117	-0,088	-0,026	,216**	-0,020	-0,066	,262**	-0,112	-0,037	-,252**	0,026	,381**	-,380**	Estiaje
335	Berilio	-0,024	-0,024	0,005	0,083	-0,064	-0,073	-0,027	,132*	-0,032	-0,027	-0,031	-0,031	-0,034	-0,120	-0,056	0,118	-0,088	Estiaje
336	Bismuto	0,072	0,071	-0,020	0,011	0,011	-0,026	-0,080	-0,123	-0,051	-0,104	,129*	-0,021	-0,056	0,102	-0,019	,175**	-,160**	Estiaje
337	Boro	-0,072	-0,072	,151*	-0,017	-0,041	-0,017	-0,098	-,356**	,319**	0,005	-0,093	,158*	,566**	,348**	0,046	0,026	-0,046	Estiaje
338	Cadmio	-0,040	-0,040	-0,019	0,041	-0,012	-0,052	-0,109	-,201**	-0,071	-,136*	0,025	-0,032	-0,080	,203**	-0,023	,163*	-,147**	Estiaje
339	Calcio	0,057	0,057	,191**	-0,004	-0,060	-0,042	-,225**	-,303**	0,074	-,228**	0,119	0,054	0,083	,275**	-0,010	,428**	-,409**	Estiaje
340	Cobalto	-0,030	-0,031	-0,012	,250**	-,196**	-,181**	-0,081	0,086	-0,057	,183**	-0,036	-0,092	-0,085	-0,070	0,010	-0,030	0,024	Estiaje
341	Cobre	-0,003	-0,003	-0,051	-0,038	0,038	0,067	-0,101	-,245**	-0,092	-0,113	0,019	-0,063	-0,105	,252**	0,009	0,092	-0,093	Estiaje
342	Cromo_total	-0,045	-0,045	-0,029	0,121	-0,071	-0,112	-0,124	-0,111	-0,077	-0,016	-0,039	-0,086	-0,102	,130*	-0,046	0,042	-0,019	Estiaje
343	Estaño	-0,020	-0,021	-0,066	-0,016	0,054	-0,011	-0,010	-0,035	-0,033	-0,033	-0,019	-0,020	-0,038	0,042	-0,037	-0,020	0,036	Estiaje
344	Estroncio	0,097	0,097	,248**	0,029	-0,113	-0,069	-,221**	-,249**	,236**	-,167**	,127*	,309**	,270**	,184**	0,020	,411**	-,407**	Estiaje
345	Hierro	-0,013	-0,013	0,005	,229**	-,188**	-,165**	-0,081	,184**	-0,071	,132*	-0,003	-0,108	-0,103	-,171**	-0,026	0,004	0,008	Estiaje
346	Litio	-0,072	-0,072	,222**	-0,001	-0,083	-0,034	-,172**	-,444**	,441**	0,077	-0,098	,214**	,743**	,426**	0,076	-0,058	0,021	Estiaje
347	Magnesio	-0,009	-0,009	0,101	-0,013	-0,036	0,017	-,242**	-,460**	0,088	-,132*	0,057	-0,005	0,092	-,449**	-0,009	,190**	-,180**	Estiaje
348	Manganeso	0,096	0,097	0,034	0,078	-0,090	-0,032	-0,094	0,007	-0,116	-0,110	,174**	-0,099	-,138*	-0,026	0,025	,231**	-,235**	Estiaje
349	Mercurio	-0,010	-0,010	-0,024	-0,027	0,052	-0,019	-0,037	-0,064	-0,023	-0,048	0,006	-0,014	-0,025	0,066	-0,056	0,094	-0,065	Estiaje
350	Molibdeno	-0,013	-0,013	0,038	-0,060	0,040	0,031	-,157*	-,430**	0,034	-0,054	-0,012	-0,005	0,033	,432**	0,053	0,114	-,134*	Estiaje
351	Niquel	0,006	0,005	-0,015	,267**	-,213**	-,184**	-0,104	0,091	-0,026	,156*	-0,002	-0,080	-0,077	-0,083	-0,014	-0,072	0,076	Estiaje
352	Plata	-0,024	-0,024	-0,029	0,001	0,010	0,008	-0,080	-0,125	-0,045	-0,094	0,053	-0,011	-0,049	0,117	-0,056	,189**	-,157**	Estiaje
353	Plomo	-0,042	-0,042	0,025	0,104	-0,100	-0,063	-,148*	-,292**	-0,105	-,156*	0,004	-0,074	-0,122	,304**	-0,009	,149*	-,140**	Estiaje
354	Potasio	,531**	,532**	0,092	0,008	-0,066	0,033	-0,088	-,144*	-0,032	-0,118	,584**	-0,049	-0,002	0,035	,252**	,206**	-,315**	Estiaje
355	Selenio	-0,032	-0,032	-0,017	-0,037	0,029	0,048	-0,026	-0,050	-0,059	-0,098	-0,025	-0,046	-0,068	0,063	-0,015	0,103	-0,093	Estiaje
356	Silicio	,177**	,178**	-0,119	0,076	-0,019	-0,036	,179**	,443**	-,250**	,171**	-,167**	-,298**	-,285**	-,437**	0,044	0,088	-0,106	Estiaje
357	Sodio	,413**	,414**	,276**	-0,032	-0,106	0,034	-0,083	-,182**	,586**	0,036	,413**	,269**	,279**	0,058	,346**	,134*	-,289**	Estiaje
358	Talio	-0,055	-0,056	-0,022	0,005	0,013	-0,012	-0,114	-,277**	-0,095	-,164*	-0,015	-0,057	-0,110	,291**	-0,006	,142*	-,135**	Estiaje
359	Titanio	-0,044	-0,045	-0,057	,228**	-,166**	-,147*	-0,074	,127*	-0,059	,241**	-0,056	-0,094	-0,082	-0,107	-0,003	-0,117	0,115	Estiaje
360	Uranio	-0,068	-0,069	,127*	0,099	-,129*	-0,086	-,194**	-,390**	0,042	-0,068	-0,050	-0,002	,127*	,399**	0,018	0,051	-0,057	Estiaje
361	Vanadio	-0,029	-0,031	-0,021	,241**	-,179**	-,188**	-,227**	-0,083	,184**	-0,036	-0,123	-0,113	-0,206**	-0,022	0,053	-0,041	Estiaje	
362	Zinc	0,016	0,016	-0,032	0,012	-0,005	0,018	-0,109	-,188**	-0,073	-0,126	0,092	-0,018	-0,085	,175**	0,002	,160*	-,155**	Estiaje
363	Colifor_Termotolerantes	,455**	,457**	-0,031	-0,067	0,043	0,102	0,047	0,014	-0,030	-0,062	,447**	-0,026	-0,030	-0,098	,197**	0,014	-0,104	Estiaje
364	Escherichia_Coli	,467**	,469**	-0,024	-0,061	0,034	0,099	0,019	0,001	-0,031	-0,062	,462**	-0,025	-0,029	-0,089	,205**	0,023	-0,117	Estiaje

Tabla 56. Correlación de Pearson de la época de Avenida, serie de datos 8.

ID	PMECA	Densidad Poblacional	Densidad Poblacional Normalizada	Erosión Ligera	Erosión Moderada	Erosión Acusada	Erosión Alta	Erosión Muy Alta	UAT Bosque	UAT Vegetación Inundada	UAT Cultivo	UAT Urbano	UAT Suelo Desnudo	UAT Glaciar	UAT Pastizal	Geo Bajo	Geo Medio	Geo Alto	Serie
365	ICARHS	,288**	,288**	-0,102	-,146*	,136*	,171**	0,051	0,085	-0,033	-,126*	-,341**	-0,091	-,142*	-0,002	-,192**	-0,055	,142*	Avenida
366	Aceites_Grasas	,339**	,347**	-0,056	-0,081	0,046	,160*	-0,026	-0,041	-0,037	-0,079	,365**	-0,025	-0,041	-0,028	,140*	0,083	-,145*	Avenida
367	Amoniaco_N	,126*	,128*	-0,025	-0,019	0,001	0,074	-0,063	-0,089	-0,042	-0,083	,182**	-0,023	-0,045	0,057	0,043	,143*	-,158*	Avenida
368	Cloruros	0,044	0,045	,369**	0,022	-,157*	-0,087	-,127**	-0,061	,445**	-0,016	0,030	,255**	,149*	0,019	,200**	0,016	-0,108	Avenida
369	Conductividad	0,087	0,089	,177**	-,153*	0,075	0,046	-,214**	-,383**	,209**	-,128*	,144*	0,115	0,096	,338**	0,041	,297**	-,306**	Avenida
370	DBO5	,478**	,480**	-0,043	-0,059	0,020	,150*	-0,064	-0,064	-0,059	-0,113	,516**	-0,038	-0,066	-0,033	,188**	,134*	-,216**	Avenida
371	DQO	,486**	,488**	0,075	0,054	-0,111	0,031	-0,072	-0,069	-0,066	-0,108	,534**	-0,040	-0,067	-0,032	,205**	,137*	-,227**	Avenida
372	Detergentes_SAAM	,397**	,398**	-0,031	-0,027	0,006	0,089	-0,050	-0,063	-0,043	-0,090	,414**	-0,016	-0,043	-0,017	,169**	0,105	-,180**	Avenida
373	Fosforo_total	,272**	,277**	-0,012	0,041	-0,068	0,057	-0,032	-0,067	-0,063	-0,103	,313**	-0,054	-0,061	0,013	0,096	,138*	-,178**	Avenida
374	Nitratos_NO3	-0,084	-0,085	0,003	-0,001	0,024	-0,050	-0,087	-,269**	-,149*	-0,010	-0,045	-,145*	-,130*	,296**	0,011	,134*	-,135*	Avenida
375	Nitratos_N	-0,085	-0,085	0,003	-0,002	0,025	-0,050	-0,088	-,270**	-,150*	-0,011	-0,046	-,146*	-,131*	,298**	0,012	,133*	-,135*	Avenida
376	Nitrogeno_total	,290**	,293**	-0,015	0,000	-0,021	0,060	-0,052	-0,102	-0,061	-0,111	,342**	-0,035	-0,063	0,039	0,113	,159*	-,206**	Avenida
377	OD	-,429**	-,431**	-,219**	,185**	-0,052	-,132*	,212**	,556**	-,138*	,202**	-,462**	-,218**	-,132*	-,436**	-,422**	0,020	,175**	Avenida
378	pH	-,204**	-,204**	0,054	-0,040	0,011	0,032	-,282**	-,553**	,258**	,146*	-,227**	,223**	,300**	,563**	0,012	-0,053	0,046	Avenida
379	SST	-0,032	-0,033	0,026	,303**	-,270**	-,197**	0,004	0,058	-0,010	0,071	-0,055	-0,055	0,018	-0,042	-0,073	-0,082	0,113	Avenida
380	Sulfatos	-0,073	-0,073	0,096	-0,016	-0,011	-0,027	-,195**	-,374**	0,012	-,148*	-0,038	-0,038	-0,045	,387**	-0,062	,169**	-,135*	Avenida
381	Sulfuros	,411**	,421**	-0,029	-0,053	0,031	0,094	0,009	0,015	-0,023	-0,050	,398**	-0,021	-0,026	-0,091	,180**	0,007	-0,090	Avenida
382	Temperatura	,219**	,220**	-0,020	-0,034	0,052	-0,024	,354**	,744**	-,213**	0,097	,254**	-,255**	-,218**	-,760**	-0,096	,293**	-,240**	Avenida
383	Aluminio	0,002	0,000	0,030	,287**	-,257**	-,191**	0,019	0,116	-0,019	0,051	-0,028	-0,062	0,002	-0,103	-0,060	-0,066	0,091	Avenida
384	Antimonio	-0,056	-0,056	0,047	0,040	-0,052	-0,028	-,144*	-,335**	-0,041	-0,122	-0,047	-0,037	-0,032	,351**	-0,014	0,094	-0,084	Avenida
385	Arsénico	-0,064	-0,064	0,103	,219**	-,219**	-,168**	-,184**	-,349**	0,055	-0,086	-0,044	0,029	,141*	,353**	-0,049	0,065	-0,040	Avenida
386	Bario	0,052	0,053	0,107	,202**	-,216**	-,147*	0,059	,162*	-0,014	0,003	0,017	-0,075	-0,010	-,155*	-0,055	0,121	-0,091	Avenida
387	Berilio	-0,062	-0,062	0,065	,227**	-,216**	-,166**	0,024	0,067	-0,005	0,030	-0,085	-0,031	0,032	-0,046	-0,058	-0,018	0,044	Avenida
388	Bismuto	0,024	0,025	0,034	,127*	-0,125	-0,076	-0,116	-,168**	-0,054	-0,122	0,084	-0,028	-0,057	,157**	-0,035	,177**	-,155**	Avenida
389	Boro	-0,103	-0,103	0,015	-,171**	,172**	0,045	-,171**	-,401**	,158*	-0,060	-,129*	0,107	,341**	,410**	-0,033	-0,054	0,067	Avenida
390	Cadmio	-0,039	-0,039	0,076	,148*	-,148*	-0,122	-0,113	-,196**	-0,067	-0,113	0,007	-0,041	-0,068	,202**	-0,044	,152**	-,127**	Avenida
391	Calcio	0,000	0,001	,194**	-0,030	-0,043	-0,026	-0,137*	-,266**	0,074	-,169**	0,047	0,065	0,073	,250**	-0,038	,386**	-,356**	Avenida
392	Cobalto	-0,053	-0,053	0,020	,314**	-,276**	-,205**	-0,019	0,030	0,009	0,047	-0,079	-0,050	0,021	-0,009	-0,074	-,142*	,172**	Avenida
393	Cobre	-0,027	-0,027	-0,027	0,091	-0,075	-0,032	-0,092	-,179**	-0,063	-0,072	-0,016	-0,066	-0,078	,192**	-0,029	0,019	-0,006	Avenida
394	Cromo_total	-0,013	-0,014	-0,063	,192**	-,173**	-0,039	-0,031	0,027	-0,003	-0,021	-0,024	-0,060	-0,033	-0,014	-0,108	-0,100	,146*	Avenida
395	Estaño	-0,008	-0,009	0,094	,174**	-,160*	-,180**	-0,040	,142*	-0,050	-0,051	0,059	-0,059	-0,027	-,145*	-0,093	,179**	-,131**	Avenida
396	Estroncio	0,043	0,045	,262**	-0,027	-0,060	-0,063	-,186**	-,295**	,247**	-,127*	0,073	,371**	,263**	,234**	0,016	,336**	-,332**	Avenida
397	Hierro	-0,027	-0,028	0,030	,315**	-,289**	-,188**	-0,039	0,008	-0,003	0,034	-0,041	-0,048	0,026	0,005	-0,071	-0,098	,128*	Avenida
398	Litio	-0,080	-0,080	,168**	-0,014	-0,016	-0,095	-,156*	-,408**	,325**	0,046	-0,109	,170**	,601**	,401**	0,035	-0,076	0,058	Avenida
399	Magnesio	-0,056	-0,056	0,101	0,040	-0,064	-0,055	-,214**	-,441**	0,089	-0,084	-0,023	-0,003	0,079	,445**	-0,062	0,111	-0,079	Avenida
400	Manganeso	-0,028	-0,027	0,070	,238**	-,238**	-,146*	-0,016	0,008	-0,037	-0,029	-0,018	-0,067	-0,025	0,005	-0,066	0,039	-0,008	Avenida
401	Mercurio	-0,018	-0,018	0,061	0,117	-0,110	-0,113	-0,072	-0,107	-0,035	-0,073	-0,006	-0,024	-0,039	0,112	-0,047	0,092	-0,067	Avenida
402	Molibdeno	-0,012	-0,012	0,060	0,029	-0,041	-0,038	-,140*	-,341**	0,008	-0,088	-0,019	-0,004	0,004	,345**	0,016	0,072	-0,077	Avenida
403	Niquel	-0,047	-0,047	-0,003	,329**	-,280**	-,207**	-0,033	0,033	0,016	0,032	-0,071	-0,054	0,010	-0,013	-0,086	-,169**	,203**	Avenida
404	Plata	,262**	,262**	0,038	0,074	-0,089	-0,029	-0,070	-0,099	-0,047	-0,103	,270**	-0,034	-0,049	0,051	0,088	0,092	-,130*	Avenida
405	Plomo	-0,036	-0,036	0,075	,176**	-,173**	-,136*	-0,118	-,201**	-0,057	-0,112	-0,014	-0,044	-0,058	,211**	-0,065	0,115	-0,081	Avenida
406	Potasio	,353**	,355**	0,081	,151**	-,181**	-0,064	-0,094	-0,111	-0,038	-0,095	,373**	-0,070	-0,004	0,046	0,122	0,117	-,169**	Avenida
407	Selenio	-0,074	-0,074	0,054	0,045	-0,067	-0,021	-0,046	-,160*	0,043	-0,033	-0,089	-0,018	-0,018	,180**	-0,007	0,081	-0,075	Avenida
408	Silicio	0,067	0,067	-0,015	,281**	-,234**	-,182**	0,112	,258**	-0,099	0,093	0,035	-,158*	-0,093	-,246**	-0,082	-0,027	0,063	Avenida
409	Sodio	,190**	,192**	,287**	-0,021	-0,099	-0,022	-0,115	-,189**	,552**	-0,009	,182**	,315**	,203**	0,107	,246**	0,078	-,188**	Avenida
410	Talio	-0,061	-0,061	-0,032	-0,044	0,015	0,112	-0,082	-,262**	-0,077	-0,117	-0,051	-0,056	-0,082	,282**	0,004	0,055	-0,055	Avenida
411	Titanio	-0,022	-0,022	-0,094	,300**	-,230**	-,152*	-0,011	,143*	-0,030	0,033	-0,050	-0,072	-0,037	-0,124	-0,123	-,186**	,237**	Avenida
412	Uranio	-0,031	-0,032	0,055	,156*	-,158*	-0,099	-0,075	-,235**	-0,018	-0,020	-0,047	-0,092	0,013	,255**	-0,053	-0,023	0,047	Avenida
413	Vanadio	0,029	0,027	0,027	,333**	-,294**	-,219**	-0,005	0,108	-0,022	0,079	0,003	-0,067	-0,005	-0,101	-0,052	-0,094	0,115	Avenida
414	Zinc	0,029	0,029	0,000	0,059	-0,058	-0,016	-0,103	-,210**	-0,039	-0,080	0,080	-0,027	-0,027	,198**	-0,017	0,123	-0,111	Avenida
415	Colifor_Termotolerantes	,622**	,622**	0,021	-0,035	0,008	0,050	-0,024	0,011	-0,038	-0,077	,607**	-0,033	-0,040	-,127*	,271**	0,021	-,145*	Avenida
416	Escherichia_Coli	,614**	,610**	0,043	-0,010	-0,015	0,014	-0,030	0,007	-0,035	-0,071	,596**	-0,032	-0,036	-0,121	,270**	0,014	-,138*	Avenida

Tabla 57. Correlación de Pearson del total de datos, serie de datos 9.

ID	PMECA	Densidad Poblacional	Densidad Poblacional Normalizada	Erosión Ligera	Erosión Moderada	Erosión Acusada	Erosión Alta	Erosión Muy Alta	UAT Bosque	UAT Vegetación Inundada	UAT Cultivo	UAT Urbano	UAT Suelo Desnudo	UAT Glaciar	UAT Pastizal	Geo Bajo	Geo Medio	Geo Alto	Serie
417	ICARHS	-.320**	-.320**	-0,051	-0,053	0,037	,099*	0,056	0,068	0,047	-,139**	-,392**	-0,069	-0,083	0,022	-,234**	-,111**	,215**	Total
418	Aceites_Grasas	,506**	,509**	-0,027	-0,050	0,014	,122**	-0,039	-0,030	-0,050	-,102*	,525**	-0,032	-0,055	-0,069	,205**	,098*	-,189**	Total
419	Amoniaco_N	,158**	,159**	-0,020	-0,031	0,006	0,084	-0,054	-0,083	-0,045	-,089*	,220**	-0,019	-0,048	0,043	0,058	,147**	-,169**	Total
420	Cloruros	0,085	0,085	,370**	0,025	-,164**	-0,076	-,124**	-0,065	,457**	-0,011	0,071	,305**	,197**	0,009	,212**	0,038	-,134**	Total
421	Conductividad	0,076	0,076	0,055	-,211**	,130**	,195**	-,146**	-,348**	,112*	-0,059	,109*	0,063	,091*	,317**	0,040	,183**	-,195**	Total
422	DBO5	,535**	,537**	-0,020	-0,037	0,002	,109*	-0,061	-0,042	-0,058	-,118**	,567**	-0,034	-0,067	-0,064	,222**	,130**	-,228**	Total
423	DQO	,491**	,493**	0,037	0,026	-0,067	0,045	-0,052	-0,047	-0,075	-,118**	,540**	-0,045	-0,076	-0,053	,215**	,154**	-,248**	Total
424	Detergentes_SAAM	,386**	,388**	-0,018	-0,044	0,022	0,080	0,009	0,013	-0,024	-0,049	,373**	-0,020	-0,025	-0,084	,168**	0,016	-,093*	Total
425	Fosforo_total	,421**	,427**	-0,025	-0,020	-0,004	0,083	-0,002	-0,006	-0,066	-,113*	,450**	-0,056	-0,075	-0,074	,159**	,132**	-,201**	Total
426	Nitratos_NO3	-,120**	-,120**	-0,032	-0,023	0,061	-0,035	-,135**	-,342**	-,134**	-0,004	-0,084	-,137**	-,120**	,375**	0,010	,099*	-,100*	Total
427	Nitratos_N	-,121**	-,121**	-0,031	-0,023	0,061	-0,035	-,137**	-,347**	-,135**	-0,006	-0,085	-,138**	-,122**	,381**	0,012	,096*	-,099*	Total
428	Nitrogeno_total	0,009	0,009	-0,049	-0,067	0,067	0,063	,188**	0,064	-0,020	-0,041	0,011	-0,017	-0,022	-0,063	-0,024	-0,005	0,016	Total
429	OD	-,397**	-,399**	-,286**	-0,048	,155**	0,067	,163**	,303**	-0,073	,170**	-,434**	-,122**	-0,068	-,202**	-,313**	-0,039	,181**	Total
430	pH	-,218**	-,218**	0,054	-0,011	0,002	-0,018	-,307**	-,585**	,258**	,098*	-,237**	,207**	,276**	,599**	0,006	-0,050	0,046	Total
431	SST	-0,017	-0,017	0,000	,204**	-,173**	-,134**	-0,010	0,082	-0,022	0,071	-0,030	-0,054	-0,008	-0,070	-0,058	-0,026	0,052	Total
432	Sulfatos	-0,069	-0,069	,105*	0,004	-0,035	-0,031	-,202**	-,391**	0,023	-,173**	-0,029	-0,034	-0,033	,403**	-0,059	,178**	-,144**	Total
433	Sulfuros	,496**	,501**	0,038	-0,023	-0,019	0,057	0,051	0,012	-0,042	-0,085	,502**	-0,031	-0,047	-,107*	,234**	0,057	-,163**	Total
434	Temperatura	,222**	,223**	-0,028	-0,006	0,024	-0,024	,372**	,768**	-,214**	,110*	,258**	-,266**	-,223**	-,784**	-0,081	,300**	-,253**	Total
435	Aluminio	-0,006	-0,007	0,004	,198**	-,168**	-,133**	0,001	,114*	-0,026	0,072	-0,025	-0,058	-0,015	-,102*	-0,048	-0,035	0,056	Total
436	Antimonio	-0,055	-0,055	0,029	0,013	-0,018	-0,018	-,139**	-,336**	-0,034	-,121**	-0,047	-0,035	-0,025	,351**	-0,018	,091*	-0,080	Total
437	Arsénico	-0,057	-0,057	0,088	,140**	-,148**	-,109*	-,175**	-,356**	0,062	-0,067	-0,038	0,034	,147**	-,358**	-0,021	0,062	-0,051	Total
438	Bario	,108*	,109*	,095*	,134**	-,151**	-,105*	0,030	,160**	-0,015	-0,001	0,079	-0,078	-0,017	-,165**	-0,029	,176**	-,157**	Total
439	Berilio	-0,046	-0,046	0,035	,147**	-,135**	-,109*	0,010	0,068	-0,011	0,031	-0,062	-0,027	0,014	-0,053	-0,049	0,009	0,013	Total
440	Bismuto	0,037	0,037	0,011	0,075	-0,067	-0,050	-0,096*	-,144**	-0,050	-,107*	,093*	-0,025	-0,053	,131**	-0,028	,166**	-,147**	Total
441	Boro	-0,088	-0,088	0,069	-,107*	0,084	0,022	-,136**	-,375**	,221**	-0,028	-,112*	,126**	,428**	,377**	0,000	-0,020	0,019	Total
442	Cadmio	-0,036	-0,036	0,038	,096*	-0,087	-0,085	-,102*	-,182**	-0,063	-,105*	0,012	-0,036	-0,066	,186**	-0,035	,143**	-,122**	Total
443	Calcio	0,027	0,027	,191**	-0,018	-0,050	-0,033	-,179**	-,283**	0,074	-,193**	0,081	0,060	0,078	,261**	-0,025	,405**	-,380**	Total
444	Cobalto	-0,040	-0,040	0,001	,227**	-,192**	-,150**	-0,026	0,034	-0,005	0,077	-0,058	-0,049	-0,001	-0,018	-0,048	-0,050	0,019	Total
445	Cobre	-0,018	-0,018	-0,038	0,032	-0,022	0,010	-0,090*	-,192**	-0,070	-0,074	-0,003	-0,062	-0,083	,202**	-0,015	0,042	-0,034	Total
446	Cromo_total	-0,019	-0,019	-0,054	,139**	-,114*	-0,044	-0,049	-0,008	-0,021	-0,007	-0,024	-0,060	-0,046	0,020	-0,081	-0,056	,092*	Total
447	Estaño	-0,009	-0,009	0,042	,094*	-0,078	-0,106*	-0,028	,090*	-0,040	-0,027	0,038	-0,044	-0,025	-,091*	-0,068	,117**	-0,082	Total
448	Estroncio	0,069	0,070	,255**	0,003	-0,088	-0,067	-,203**	-,272**	,242**	-,146**	,099*	,341**	,266**	,210**	0,018	,372**	-,368**	Total
449	Hierro	-0,020	-0,020	0,010	,217**	-,193**	-,132**	-0,037	0,031	-0,013	0,057	-0,027	-0,048	0,001	-0,021	-0,051	-0,065	0,086	Total
450	Litio	-0,076	-0,076	,196**	-0,008	-0,051	-0,062	-,164**	-,426**	,384**	0,061	-,103*	,193**	,674**	,413**	0,056	-0,067	0,039	Total
451	Magnesio	-0,033	-0,033	,099*	0,010	-0,046	-0,016	-,228**	-,450**	0,088	-,103*	0,016	-0,004	0,085	,446**	-0,036	,150**	-,129**	Total
452	Manganeso	0,008	0,008	0,044	,152**	-,155**	-0,088	-0,036	0,007	-0,056	-0,033	0,036	-0,070	-0,054	-0,004	-0,035	0,087	-0,067	Total
453	Mercurio	-0,013	-0,013	0,038	0,074	-0,068	-0,073	-0,050	-0,077	-0,025	-0,051	-0,004	-0,017	-0,028	0,080	-0,034	0,067	-0,049	Total
454	Molibdeno	-0,012	-0,012	0,047	-0,010	-0,004	-0,007	-,141**	-,365**	0,017	-0,072	-0,016	-0,004	0,014	,368**	0,029	0,086	-,096*	Total
455	Niquel	-0,030	-0,031	-0,014	,235**	-,194**	-,148**	-0,037	0,035	0,005	0,059	-0,047	-0,048	-0,006	-0,021	-0,060	-,124**	,147**	Total
456	Plata	,183**	,183**	0,021	0,043	-0,051	-0,014	-0,051	-0,075	-0,036	-0,074	,194**	-0,025	-0,037	0,040	0,059	0,073	-,098**	Total
457	Plomo	-0,029	-0,029	0,048	,118**	-,115*	-0,090*	-,095*	-,169**	-0,051	-0,089	-0,009	-0,039	-0,053	,177**	-0,046	,095*	-0,071	Total
458	Potasio	,432**	,433**	0,080	0,072	-,114*	-0,010	-0,090*	-,125**	-0,036	-,095*	,466**	-0,060	-0,004	0,040	,181**	,157**	-,235**	Total
459	Selenio	-0,056	-0,056	0,019	0,001	-0,016	0,013	-0,036	-,114*	0,005	-0,041	-0,062	-0,027	-0,035	,130**	-0,009	0,084	-0,077	Total
460	Silicio	,096*	,096*	-0,053	,181**	-,134**	-,112*	,124**	,297**	-,140**	,121**	0,074	-,191**	-,147**	-,288**	-0,038	0,010	0,007	Total
461	Sodio	,282**	,283**	,279**	-0,024	-,102*	0,001	-0,099*	-,184**	,560**	0,007	,277**	,292**	,233**	0,085	,285**	,101*	-,229**	Total
462	Talio	-0,052	-0,052	-0,031	-0,038	0,024	0,077	-0,076	-0,229**	-0,070	-,103*	-0,037	-0,049	-0,077	,244**	0,001	0,064	-0,062	Total
463	Titanio	-0,022	-0,022	-0,080	,217**	-,160**	-,112*	-0,020	,117**	-0,031	0,075	-0,042	-0,065	-0,040	-,101*	-0,083	-,144**	,178**	Total
464	Uranio	-0,048	-0,049	0,082	,114*	-,129**	-0,083	-,130**	-,303**	0,009	-0,029	-0,047	-0,050	0,065	,317**	-0,020	0,011	-0,002	Total
465	Vanadio	0,013	0,012	0,002	,237**	-,199**	-,160**	-0,015	-,113*	-0,032	,104*	-0,003	-0,068	-0,026	-,105*	-0,038	-0,052	0,068	Total
466	Zinc	0,023	0,023	-0,016	0,032	-0,029	0,002	-,102*	-,197**	-0,052	-0,090*	0,084	-0,023	-0,050	,184**	-0,009	,135**	-,126**	Total
467	Colifor_Termotolerantes	,391**	,392**	-0,017	-0,049	0,028	0,077	0,031	0,011	-0,025	-0,053	,381**	-0,022	-0,025	-0,083	,169**	0,012	-,090*	Total
468	Escherichia_Coli	,435**	,435**	-0,007	-0,041	0,017	0,071	0,008	0,002	-0,027	-0,057	,426**	-0,023	-0,027	-0,083	,191**	0,019	-,106*	Total

E-3 : Resultados obtenidos del análisis de Discriminante

Serie 7: Estiaje

NH3-N				CI				DBO5			
PME	Lambda de Wilks (λ)	F	p-valor	PME	Lambda de Wilks (λ)	F	p-valor	PME	Lambda de Wilks (λ)	F	p-valor
DP	0.881	8.032	0.0000	DP	0.889	7.436	0.0000	DP	0.828	49.980	0.0000
E-I	0.970	1.830	0.1238	E-I	0.823	12.757	0.0000	E-I	0.933	17.257	0.0000
E-II	0.901	6.520	0.0001	E-II	0.983	1.019	0.3981	E-II	0.981	4.760	0.0301
E-III	0.927	4.710	0.0011	E-III	0.951	3.073	0.0171	E-III	0.954	11.752	0.0007
E-IV	0.919	5.277	0.0004	E-IV	0.962	2.345	0.0554	E-IV	0.981	4.579	0.0334
E-V	0.949	3.218	0.0135	E-V	0.862	9.533	0.0000	E-V	0.994	1.498	0.2222
BOS	0.943	3.568	0.0076	BOS	0.756	19.186	0.0000	BOS	0.994	1.526	0.2180
V IN	0.981	1.124	0.3457	V IN	0.842	11.128	0.0000	V IN	0.998	0.512	0.4751
AGR	0.995	0.288	0.8856	AGR	0.832	12.054	0.0000	AGR	0.996	0.917	0.3391
URB	0.822	12.889	0.0000	URB	0.898	6.783	0.0000	URB	0.805	58.529	0.0000
SD	0.988	0.726	0.5752	SD	0.915	5.541	0.0003	SD	0.989	2.562	0.1108
GLA	0.987	0.794	0.5304	GLA	0.810	13.935	0.0000	GLA	1.000	0.001	0.9713
PAS	0.967	2.058	0.0870	PAS	0.779	16.866	0.0000	PAS	1.000	0.107	0.7437
G-I	0.919	5.251	0.0005	G-I	0.898	6.757	0.0000	G-I	0.887	30.782	0.0000
G-II	0.972	1.708	0.1490	G-II	0.935	4.105	0.0031	G-II	0.997	0.709	0.4006
G-III	0.933	4.271	0.0023	G-III	0.902	6.447	0.0001	G-III	0.957	10.801	0.0012
DQO				SAAM				PT			
PME	Lambda de Wilks (λ)	F	p-valor	PME	Lambda de Wilks (λ)	F	p-valor	PME	Lambda de Wilks (λ)	F	p-valor
DP	0.856	13.380	0.0000	DP	0.927	18.860	0.0000	DP	0.884	10.453	0.0000
E-I	0.992	0.652	0.5827	E-I	0.999	0.216	0.6427	E-I	0.965	2.930	0.0343
E-II	0.903	8.605	0.0000	E-II	0.934	16.960	0.0001	E-II	0.960	3.292	0.0213
E-III	0.936	5.464	0.0012	E-III	0.977	5.703	0.0177	E-III	0.942	4.902	0.0025
E-IV	0.918	7.151	0.0001	E-IV	0.923	20.063	0.0000	E-IV	0.977	1.877	0.1340
E-V	0.980	1.609	0.1879	E-V	1.000	0.005	0.9416	E-V	0.968	2.615	0.0518
BOS	0.984	1.279	0.2823	BOS	0.992	1.971	0.1617	BOS	0.929	6.131	0.0005
V IN	0.986	1.104	0.3480	V IN	0.999	0.127	0.7222	V IN	0.963	3.024	0.0303
AGR	0.995	0.405	0.7499	AGR	0.997	0.661	0.4169	AGR	0.978	1.800	0.1478
URB	0.846	14.526	0.0000	URB	0.919	21.238	0.0000	URB	0.854	13.602	0.0000
SD	0.990	0.781	0.5057	SD	0.938	15.910	0.0001	SD	0.950	4.184	0.0065
GLA	0.992	0.624	0.6004	GLA	0.943	14.593	0.0002	GLA	0.959	3.419	0.0180
PAS	0.968	2.594	0.0532	PAS	1.000	0.000	0.9935	PAS	0.915	7.435	0.0001
G-I	0.906	8.222	0.0000	G-I	0.932	17.447	0.0000	G-I	0.971	2.414	0.0673
G-II	0.992	0.623	0.6010	G-II	0.988	3.011	0.0840	G-II	0.959	3.431	0.0178
G-III	0.955	3.780	0.0112	G-III	0.949	13.076	0.0004	G-III	0.941	4.958	0.0023
NT				OD				pH			
PME	Lambda de Wilks (λ)	F	p-valor	PME	Lambda de Wilks (λ)	F	p-valor	PME	Lambda de Wilks (λ)	F	p-valor
DP	0.852	10.337	0.0000	DP	0.856	10.042	0.0000	DP	0.904	6.352	0.0001
E-I	0.953	2.940	0.0212	E-I	0.817	13.310	0.0000	E-I	0.947	3.335	0.0111
E-II	0.963	2.304	0.0592	E-II	0.866	9.237	0.0000	E-II	0.976	1.440	0.2214
E-III	0.971	1.802	0.1291	E-III	0.797	15.149	0.0000	E-III	0.985	0.916	0.4553
E-IV	0.932	4.331	0.0021	E-IV	0.875	8.503	0.0000	E-IV	0.973	1.669	0.1580
E-V	0.879	8.182	0.0000	E-V	0.938	3.966	0.0039	E-V	0.855	10.075	0.0000
BOS	0.801	14.748	0.0000	BOS	0.896	6.941	0.0000	BOS	0.573	44.371	0.0000
V IN	0.963	2.310	0.0586	V IN	0.981	1.156	0.3311	V IN	0.880	8.098	0.0000
AGR	0.981	1.150	0.3335	AGR	0.950	3.133	0.0155	AGR	0.933	4.251	0.0024
URB	0.818	13.200	0.0000	URB	0.836	11.634	0.0000	URB	0.898	6.723	0.0000
SD	0.960	2.479	0.0448	SD	0.993	0.413	0.7995	SD	0.932	4.363	0.0020
GLA	0.946	3.393	0.0101	GLA	0.979	1.277	0.2797	GLA	0.890	7.354	0.0000
PAS	0.839	11.459	0.0000	PAS	0.936	4.077	0.0032	PAS	0.548	49.026	0.0000
G-I	0.916	5.462	0.0003	G-I	0.899	6.706	0.0000	G-I	0.953	2.960	0.0206
G-II	0.961	2.383	0.0521	G-II	0.990	0.609	0.6562	G-II	0.972	1.691	0.1529
G-III	0.924	4.874	0.0009	G-III	0.969	1.915	0.1086	G-III	0.981	1.177	0.3216

Serie 7: Estiaje

SO42-				T				As			
PME	Lambda de Wilks (λ)	F	p-valor	PME	Lambda de Wilks (λ)	F	p-valor	PME	Lambda de Wilks (λ)	F	p-valor
DP	0.964	2.214	0.0682	DP	0.911	5.832	0.0002	DP	0.975	1.545	0.1900
E-I	0.963	2.267	0.0627	E-I	0.935	4.141	0.0029	E-I	0.957	2.686	0.0321
E-II	0.989	0.661	0.6195	E-II	0.938	3.955	0.0040	E-II	0.973	1.644	0.1640
E-III	0.983	1.054	0.3800	E-III	0.984	0.991	0.4130	E-III	0.947	3.310	0.0116
E-IV	0.979	1.279	0.2787	E-IV	0.939	3.834	0.0049	E-IV	0.985	0.899	0.4650
E-V	0.913	5.689	0.0002	E-V	0.825	12.596	0.0000	E-V	0.915	5.513	0.0003
BOS	0.755	19.267	0.0000	BOS	0.318	127.427	0.0000	BOS	0.608	38.409	0.0000
V IN	0.889	7.399	0.0000	V IN	0.899	6.678	0.0000	V IN	0.938	3.940	0.0041
AGR	0.859	9.747	0.0000	AGR	0.922	5.037	0.0006	AGR	0.800	14.847	0.0000
URB	0.975	1.548	0.1891	URB	0.880	8.086	0.0000	URB	0.987	0.780	0.5394
SD	0.925	4.811	0.0009	SD	0.921	5.133	0.0006	SD	0.929	4.517	0.0016
GLA	0.831	12.138	0.0000	GLA	0.925	4.827	0.0009	GLA	0.854	10.178	0.0000
PAS	0.757	19.072	0.0000	PAS	0.299	139.477	0.0000	PAS	0.627	35.456	0.0000
G-I	0.995	0.314	0.8682	G-I	0.974	1.563	0.1850	G-I	0.926	4.731	0.0011
G-II	0.947	3.325	0.0113	G-II	0.811	13.894	0.0000	G-II	0.851	10.399	0.0000
G-III	0.962	2.329	0.0568	G-III	0.842	11.194	0.0000	G-III	0.933	4.268	0.0024
B				Li				Mg			
PME	Lambda de Wilks (λ)	F	p-valor	PME	Lambda de Wilks (λ)	F	p-valor	PME	Lambda de Wilks (λ)	F	p-valor
DP	0.989	0.874	0.4550	DP	0.888	10.047	0.0000	DP	0.953	2.948	0.0210
E-I	0.975	2.080	0.1035	E-I	0.965	2.869	0.0372	E-I	0.943	3.613	0.0070
E-II	0.997	0.238	0.8699	E-II	0.967	2.681	0.0476	E-II	0.989	0.677	0.6083
E-III	0.995	0.423	0.7366	E-III	0.960	3.318	0.0206	E-III	0.978	1.316	0.2648
E-IV	0.987	1.059	0.3673	E-IV	0.986	1.107	0.3469	E-IV	0.976	1.449	0.2185
E-V	0.936	5.468	0.0012	E-V	0.910	7.875	0.0000	E-V	0.908	6.049	0.0001
BOS	0.652	42.553	0.0000	BOS	0.618	49.153	0.0000	BOS	0.704	25.044	0.0000
V IN	0.917	7.254	0.0001	V IN	0.899	8.955	0.0000	V IN	0.948	3.242	0.0130
AGR	0.989	0.927	0.4286	AGR	0.923	6.667	0.0002	AGR	0.853	10.246	0.0000
URB	0.983	1.370	0.2526	URB	0.893	9.528	0.0000	URB	0.949	3.190	0.0141
SD	0.986	1.115	0.3438	SD	0.977	1.851	0.1386	SD	0.976	1.476	0.2100
GLA	0.786	21.662	0.0000	GLA	0.758	25.384	0.0000	GLA	0.899	6.716	0.0000
PAS	0.661	40.772	0.0000	PAS	0.621	48.596	0.0000	PAS	0.708	24.525	0.0000
G-I	0.996	0.291	0.8318	G-I	0.946	4.518	0.0042	G-I	0.982	1.118	0.3484
G-II	0.996	0.321	0.8101	G-II	0.970	2.456	0.0637	G-II	0.944	3.540	0.0079
G-III	0.998	0.187	0.9049	G-III	0.982	1.501	0.2150	G-III	0.926	4.736	0.0011
Mo				K				Si			
PME	Lambda de Wilks (λ)	F	p-valor	PME	Lambda de Wilks (λ)	F	p-valor	PME	Lambda de Wilks (λ)	F	p-valor
DP	0.990	0.821	0.4836	DP	0.855	10.092	0.0000	DP	0.916	5.443	0.0003
E-I	0.954	3.863	0.0100	E-I	0.912	5.709	0.0002	E-I	0.895	6.953	0.0000
E-II	0.984	1.270	0.2854	E-II	0.964	2.219	0.0676	E-II	0.981	1.178	0.3212
E-III	0.986	1.167	0.3228	E-III	0.946	3.425	0.0096	E-III	0.970	1.819	0.1257
E-IV	0.965	2.923	0.0346	E-IV	0.947	3.324	0.0113	E-IV	0.940	3.797	0.0052
E-V	0.943	4.840	0.0027	E-V	0.941	3.755	0.0055	E-V	0.937	4.018	0.0036
BOS	0.668	39.664	0.0000	BOS	0.854	10.167	0.0000	BOS	0.779	16.834	0.0000
V IN	0.892	9.661	0.0000	V IN	0.973	1.661	0.1599	V IN	0.889	7.450	0.0000
AGR	0.857	13.243	0.0000	AGR	0.829	12.280	0.0000	AGR	0.888	7.473	0.0000
URB	0.991	0.684	0.5624	URB	0.851	10.448	0.0000	URB	0.927	4.694	0.0012
SD	0.964	2.949	0.0335	SD	0.969	1.882	0.1142	SD	0.846	10.821	0.0000
GLA	0.898	9.037	0.0000	GLA	0.928	4.635	0.0013	GLA	0.838	11.515	0.0000
PAS	0.694	35.056	0.0000	PAS	0.885	7.701	0.0000	PAS	0.775	17.265	0.0000
G-I	0.972	2.328	0.0752	G-I	0.904	6.312	0.0001	G-I	0.907	6.108	0.0001
G-II	0.988	0.945	0.4198	G-II	0.963	2.300	0.0595	G-II	0.965	2.150	0.0754
G-III	0.970	2.432	0.0658	G-III	0.910	5.853	0.0002	G-III	0.941	3.727	0.0058

Serie 7: Estiaje

Na				U				CT			
PME	Lambda de Wilks (λ)	F	p-valor	PME	Lambda de Wilks (λ)	F	p-valor	PME	Lambda de Wilks (λ)	F	p-valor
DP	0.887	7.610	0.0000	DP	0.989	1.286	0.2784	DP	0.848	10.685	0.0000
E-I	0.921	5.090	0.0006	E-I	0.987	1.623	0.1995	E-I	0.965	2.159	0.0743
E-II	0.996	0.215	0.9301	E-II	0.990	1.268	0.2832	E-II	0.997	0.208	0.9338
E-III	0.989	0.673	0.6113	E-III	0.987	1.540	0.2165	E-III	0.990	0.604	0.6604
E-IV	0.985	0.930	0.4470	E-IV	0.986	1.644	0.1954	E-IV	0.989	0.658	0.6215
E-V	0.970	1.834	0.1230	E-V	0.943	7.221	0.0009	E-V	0.983	1.044	0.3854
BOS	0.814	13.554	0.0000	BOS	0.768	36.305	0.0000	BOS	0.974	1.618	0.1705
V IN	0.833	11.891	0.0000	V IN	0.989	1.301	0.2743	V IN	0.962	2.344	0.0555
AGR	0.798	15.085	0.0000	AGR	0.980	2.432	0.0900	AGR	0.931	4.417	0.0018
URB	0.897	6.796	0.0000	URB	0.992	0.930	0.3959	URB	0.761	18.736	0.0000
SD	0.929	4.561	0.0014	SD	0.996	0.501	0.6063	SD	0.932	4.352	0.0020
GLA	0.804	14.530	0.0000	GLA	0.985	1.871	0.1562	GLA	0.986	0.836	0.5037
PAS	0.843	11.101	0.0000	PAS	0.752	39.499	0.0000	PAS	0.966	2.080	0.0841
G-I	0.886	7.644	0.0000	G-I	0.999	0.137	0.8719	G-I	0.911	5.783	0.0002
G-II	0.928	4.623	0.0013	G-II	0.994	0.758	0.4699	G-II	0.961	2.438	0.0478
G-III	0.920	5.162	0.0005	G-III	0.995	0.632	0.5322	G-III	0.902	6.439	0.0001
				EC							
				PME	Lambda de Wilks (λ)	F	p-valor				
				DP	0.840	11.325	0.0000				
				E-I	0.968	1.973	0.0994				
				E-II	0.994	0.363	0.8351				
				E-III	0.992	0.453	0.7700				
				E-IV	0.979	1.281	0.2780				
				E-V	0.987	0.778	0.5402				
				BOS	0.991	0.529	0.7148				
				V IN	0.964	2.218	0.0678				
				AGR	0.944	3.545	0.0079				
				URB	0.753	19.478	0.0000				
				SD	0.938	3.941	0.0041				
				GLA	0.990	0.630	0.6413				
				PAS	0.985	0.896	0.4671				
				G-I	0.928	4.613	0.0013				
				G-II	0.966	2.085	0.0835				
				G-III	0.917	5.394	0.0004				

Serie 8: Avenida

NH3-N				CI				DBO5			
PME	Lambda de Wilks (λ)	F	p-valor	PME	Lambda de Wilks (λ)	F	p-valor	PME	Lambda de Wilks (λ)	F	p-valor
DP	0.899	8.995	0.0000	DP	0.959	2.548	0.0401	DP	0.882	32.272	0.0000
E-I	0.925	6.438	0.0003	E-I	0.890	7.335	0.0000	E-I	0.999	0.352	0.5538
E-II	0.846	14.459	0.0000	E-II	0.960	2.489	0.0440	E-II	0.993	1.806	0.1802
E-III	0.865	12.399	0.0000	E-III	0.961	2.392	0.0514	E-III	0.992	1.849	0.1752
E-IV	0.827	16.685	0.0000	E-IV	0.954	2.874	0.0236	E-IV	0.996	0.959	0.3283
E-V	0.978	1.756	0.1563	E-V	0.868	9.077	0.0000	E-V	0.998	0.466	0.4955
BOS	0.968	2.673	0.0480	BOS	0.759	18.867	0.0000	BOS	0.999	0.219	0.6406
V IN	0.991	0.763	0.5158	V IN	0.881	8.025	0.0000	V IN	0.992	1.830	0.1774
AGR	1.000	0.030	0.9931	AGR	0.827	12.416	0.0000	AGR	0.991	2.195	0.1398
URB	0.867	12.229	0.0000	URB	0.963	2.263	0.0631	URB	0.869	36.259	0.0000
SD	0.988	0.954	0.4150	SD	0.945	3.448	0.0092	SD	0.993	1.816	0.1791
GLA	0.995	0.408	0.7471	GLA	0.879	8.209	0.0000	GLA	0.992	1.998	0.1588
PAS	0.982	1.465	0.2247	PAS	0.801	14.758	0.0000	PAS	0.999	0.277	0.5994
G-I	0.939	5.182	0.0017	G-I	0.941	3.723	0.0059	G-I	0.975	6.268	0.0130
G-II	0.973	2.192	0.0896	G-II	0.970	1.846	0.1208	G-II	0.999	0.222	0.6376
G-III	0.929	6.113	0.0005	G-III	0.976	1.465	0.2134	G-III	0.989	2.562	0.1108

Serie 8: Avenida

DQO				PT				NT			
PME	Lambda de Wilks (λ)	F	p-valor	PME	Lambda de Wilks (λ)	F	p-valor	PME	Lambda de Wilks (λ)	F	p-valor
DP	0.845	14.642	0.0000	DP	0.936	4.089	0.0032	DP	0.849	10.556	0.0000
E-I	0.903	8.553	0.0000	E-I	0.974	1.572	0.1824	E-I	0.961	2.433	0.0482
E-II	0.822	17.223	0.0000	E-II	0.910	5.888	0.0002	E-II	0.968	1.982	0.0979
E-III	0.816	17.917	0.0000	E-III	0.919	5.224	0.0005	E-III	0.971	1.764	0.1369
E-IV	0.840	15.212	0.0000	E-IV	0.919	5.268	0.0004	E-IV	0.947	3.314	0.0115
E-V	0.985	1.243	0.2948	E-V	0.976	1.482	0.2082	E-V	0.980	1.206	0.3091
BOS	0.986	1.154	0.3281	BOS	0.996	0.245	0.9125	BOS	0.935	4.130	0.0030
V IN	0.986	1.142	0.3329	V IN	0.977	1.388	0.2386	V IN	0.972	1.717	0.1470
AGR	0.886	10.288	0.0000	AGR	0.989	0.670	0.6137	AGR	0.935	4.104	0.0031
URB	0.834	15.817	0.0000	URB	0.950	3.128	0.0156	URB	0.789	15.880	0.0000
SD	0.991	0.716	0.5434	SD	0.983	1.037	0.3887	SD	0.980	1.187	0.3172
GLA	0.996	0.331	0.8030	GLA	0.993	0.436	0.7824	GLA	0.976	1.461	0.2149
PAS	0.986	1.101	0.3495	PAS	0.991	0.558	0.6932	PAS	0.965	2.134	0.0772
G-I	0.952	4.032	0.0080	G-I	0.969	1.904	0.1105	G-I	0.961	2.416	0.0495
G-II	0.968	2.658	0.0490	G-II	0.976	1.457	0.2159	G-II	0.940	3.822	0.0050
G-III	0.955	3.729	0.0120	G-III	0.987	0.811	0.5189	G-III	0.897	6.862	0.0000
OD				pH				SO42-			
PME	Lambda de Wilks (λ)	F	p-valor	PME	Lambda de Wilks (λ)	F	p-valor	PME	Lambda de Wilks (λ)	F	p-valor
DP	0.887	7.575	0.0000	DP	0.945	3.434	0.0094	DP	0.964	2.245	0.0650
E-I	0.915	5.535	0.0003	E-I	0.988	0.694	0.5970	E-I	0.915	5.561	0.0003
E-II	0.930	4.465	0.0017	E-II	0.927	4.674	0.0012	E-II	0.970	1.869	0.1167
E-III	0.942	3.647	0.0066	E-III	0.946	3.399	0.0100	E-III	0.948	3.244	0.0129
E-IV	0.952	2.985	0.0197	E-IV	0.949	3.227	0.0133	E-IV	0.974	1.606	0.1735
E-V	0.869	8.941	0.0000	E-V	0.952	2.987	0.0197	E-V	0.928	4.586	0.0014
BOS	0.502	58.938	0.0000	BOS	0.702	25.200	0.0000	BOS	0.785	16.260	0.0000
V IN	0.964	2.249	0.0645	V IN	0.937	4.017	0.0036	V IN	0.851	10.413	0.0000
AGR	0.897	6.867	0.0000	AGR	0.960	2.488	0.0441	AGR	0.918	5.299	0.0004
URB	0.872	8.771	0.0000	URB	0.932	4.339	0.0021	URB	0.973	1.667	0.1585
SD	0.918	5.338	0.0004	SD	0.954	2.896	0.0228	SD	0.922	5.067	0.0006
GLA	0.950	3.115	0.0160	GLA	0.903	6.405	0.0001	GLA	0.832	12.050	0.0000
PAS	0.590	41.325	0.0000	PAS	0.688	27.025	0.0000	PAS	0.794	15.471	0.0000
G-I	0.828	12.372	0.0000	G-I	0.973	1.623	0.1692	G-I	0.992	0.506	0.7316
G-II	0.944	3.505	0.0084	G-II	0.982	1.118	0.3484	G-II	0.954	2.862	0.0241
G-III	0.923	4.961	0.0007	G-III	0.993	0.439	0.7804	G-III	0.964	2.244	0.0651
T				As				B			
PME	Lambda de Wilks (λ)	F	p-valor	PME	Lambda de Wilks (λ)	F	p-valor	PME	Lambda de Wilks (λ)	F	p-valor
DP	0.939	3.832	0.0049	DP	0.929	4.536	0.0015	DP	0.972	2.287	0.0793
E-I	0.904	6.315	0.0001	E-I	0.938	3.933	0.0041	E-I	0.990	0.802	0.4939
E-II	0.986	0.827	0.5090	E-II	0.916	5.470	0.0003	E-II	0.947	4.480	0.0044
E-III	0.942	3.646	0.0066	E-III	0.883	7.873	0.0000	E-III	0.951	4.061	0.0077
E-IV	0.993	0.389	0.8161	E-IV	0.966	2.111	0.0801	E-IV	0.960	3.280	0.0217
E-V	0.818	13.228	0.0000	E-V	0.946	3.409	0.0098	E-V	0.937	5.354	0.0014
BOS	0.386	94.612	0.0000	BOS	0.726	22.457	0.0000	BOS	0.683	36.958	0.0000
V IN	0.940	3.816	0.0050	V IN	0.949	3.180	0.0143	V IN	0.920	6.957	0.0002
AGR	0.975	1.550	0.1886	AGR	0.882	7.990	0.0000	AGR	0.994	0.445	0.7214
URB	0.915	5.540	0.0003	URB	0.949	3.214	0.0136	URB	0.959	3.402	0.0184
SD	0.934	4.231	0.0025	SD	0.921	5.125	0.0006	SD	0.945	4.593	0.0038
GLA	0.938	3.951	0.0040	GLA	0.891	7.274	0.0000	GLA	0.828	16.500	0.0000
PAS	0.363	104.463	0.0000	PAS	0.728	22.282	0.0000	PAS	0.677	38.088	0.0000
G-I	0.979	1.280	0.2786	G-I	0.974	1.605	0.1737	G-I	0.986	1.094	0.3523
G-II	0.865	9.275	0.0000	G-II	0.904	6.342	0.0001	G-II	0.993	0.593	0.6200
G-III	0.879	8.213	0.0000	G-III	0.930	4.459	0.0017	G-III	0.985	1.234	0.2979

Serie 8: Avenida

Li				Mg				Mo			
PME	Lambda de Wilks (λ)	F	p-valor	PME	Lambda de Wilks (λ)	F	p-valor	PME	Lambda de Wilks (λ)	F	p-valor
DP	0.957	3.599	0.0142	DP	0.968	1.965	0.1005	DP	0.984	1.272	0.2847
E-I	0.983	1.343	0.2610	E-I	0.979	1.271	0.2822	E-I	0.968	2.633	0.0506
E-II	0.992	0.627	0.5983	E-II	0.990	0.602	0.6615	E-II	0.983	1.379	0.2498
E-III	0.996	0.308	0.8198	E-III	0.988	0.731	0.5716	E-III	0.984	1.302	0.2745
E-IV	0.985	1.178	0.3188	E-IV	0.975	1.539	0.1915	E-IV	0.988	0.929	0.4275
E-V	0.963	3.075	0.0284	E-V	0.945	3.483	0.0087	E-V	0.957	3.573	0.0147
BOS	0.743	27.593	0.0000	BOS	0.756	19.198	0.0000	BOS	0.703	33.719	0.0000
V IN	0.908	8.088	0.0000	V IN	0.933	4.286	0.0023	V IN	0.868	12.080	0.0000
AGR	0.938	5.281	0.0015	AGR	0.893	7.124	0.0000	AGR	0.872	11.718	0.0000
URB	0.950	4.158	0.0068	URB	0.966	2.100	0.0815	URB	0.990	0.835	0.4759
SD	0.974	2.108	0.0999	SD	0.972	1.684	0.1544	SD	0.925	6.424	0.0003
GLA	0.763	24.704	0.0000	GLA	0.915	5.506	0.0003	GLA	0.856	13.435	0.0000
PAS	0.732	29.145	0.0000	PAS	0.732	21.735	0.0000	PAS	0.729	29.564	0.0000
G-I	0.988	0.929	0.4272	G-I	0.985	0.931	0.4466	G-I	0.987	1.082	0.3576
G-II	0.968	2.632	0.0507	G-II	0.972	1.724	0.1453	G-II	0.999	0.083	0.9693
G-III	0.966	2.834	0.0389	G-III	0.981	1.177	0.3214	G-III	0.997	0.237	0.8704
K				Si				Na			
PME	Lambda de Wilks (λ)	F	p-valor	PME	Lambda de Wilks (λ)	F	p-valor	PME	Lambda de Wilks (λ)	F	p-valor
DP	0.908	5.997	0.0001	DP	0.943	3.596	0.0072	DP	0.934	4.189	0.0027
E-I	0.938	3.906	0.0043	E-I	0.974	1.614	0.1714	E-I	0.891	7.287	0.0000
E-II	0.934	4.183	0.0027	E-II	0.919	5.251	0.0005	E-II	0.990	0.581	0.6763
E-III	0.918	5.337	0.0004	E-III	0.946	3.379	0.0103	E-III	0.969	1.902	0.1108
E-IV	0.947	3.300	0.0118	E-IV	0.944	3.527	0.0081	E-IV	0.992	0.499	0.7366
E-V	0.983	1.031	0.3916	E-V	0.946	3.416	0.0097	E-V	0.964	2.209	0.0687
BOS	0.964	2.203	0.0694	BOS	0.772	17.540	0.0000	BOS	0.797	15.168	0.0000
V IN	0.976	1.445	0.2198	V IN	0.930	4.473	0.0017	V IN	0.870	8.889	0.0000
AGR	0.935	4.145	0.0029	AGR	0.902	6.437	0.0001	AGR	0.867	9.149	0.0000
URB	0.908	6.002	0.0001	URB	0.954	2.872	0.0237	URB	0.941	3.758	0.0055
SD	0.972	1.718	0.1466	SD	0.863	9.407	0.0000	SD	0.945	3.438	0.0094
GLA	0.957	2.656	0.0337	GLA	0.887	7.606	0.0000	GLA	0.874	8.548	0.0000
PAS	0.975	1.528	0.1946	PAS	0.770	17.758	0.0000	PAS	0.832	12.045	0.0000
G-I	0.981	1.154	0.3319	G-I	0.980	1.190	0.3160	G-I	0.932	4.357	0.0020
G-II	0.985	0.920	0.4528	G-II	0.987	0.771	0.5449	G-II	0.988	0.725	0.5758
G-III	0.977	1.403	0.2336	G-III	0.987	0.770	0.5460	G-III	0.965	2.175	0.0725
U				CT				EC			
PME	Lambda de Wilks (λ)	F	p-valor	PME	Lambda de Wilks (λ)	F	p-valor	PME	Lambda de Wilks (λ)	F	p-valor
DP	0.997	0.350	0.7052	DP	0.849	10.602	0.0000	DP	0.876	8.455	0.0000
E-I	0.998	0.219	0.8036	E-I	0.991	0.554	0.6961	E-I	0.983	1.057	0.3785
E-II	0.934	8.537	0.0003	E-II	0.935	4.135	0.0029	E-II	0.950	3.120	0.0158
E-III	0.950	6.369	0.0020	E-III	0.967	2.021	0.0921	E-III	0.979	1.259	0.2870
E-IV	0.965	4.415	0.0131	E-IV	0.908	6.041	0.0001	E-IV	0.917	5.395	0.0004
E-V	0.977	2.869	0.0587	E-V	0.992	0.494	0.7403	E-V	0.985	0.884	0.4744
BOS	0.941	7.504	0.0007	BOS	0.958	2.590	0.0375	BOS	0.971	1.775	0.1346
V IN	0.997	0.342	0.7108	V IN	0.981	1.141	0.3376	V IN	0.982	1.073	0.3704
AGR	0.997	0.343	0.7102	AGR	0.905	6.218	0.0001	AGR	0.900	6.613	0.0000
URB	0.997	0.338	0.7135	URB	0.806	14.280	0.0000	URB	0.835	11.733	0.0000
SD	0.989	1.334	0.2652	SD	0.969	1.915	0.1087	SD	0.970	1.852	0.1197
GLA	0.998	0.207	0.8130	GLA	0.976	1.468	0.2125	GLA	0.970	1.854	0.1193
PAS	0.930	9.049	0.0002	PAS	0.957	2.700	0.0314	PAS	0.972	1.725	0.1452
G-I	0.998	0.293	0.7466	G-I	0.948	3.260	0.0126	G-I	0.943	3.564	0.0076
G-II	0.999	0.068	0.9341	G-II	0.971	1.787	0.1321	G-II	0.986	0.849	0.4952
G-III	0.999	0.161	0.8511	G-III	0.960	2.451	0.0468	G-III	0.970	1.870	0.1164

Serie 9: Total

NH3-N				CI				DBO5			
PME	Lambda de Wilks (λ)	F	p-valor	PME	Lambda de Wilks (λ)	F	p-valor	PME	Lambda de Wilks (λ)	F	p-valor
DP	0.889	20.146	0.0000	DP	0.939	7.879	0.0000	DP	0.826	102.172	0.0000
E-I	0.962	6.381	0.0003	E-I	0.849	21.332	0.0000	E-I	0.971	14.209	0.0002
E-II	0.921	13.855	0.0000	E-II	0.982	2.162	0.0722	E-II	0.986	6.908	0.0089
E-III	0.937	10.743	0.0000	E-III	0.958	5.274	0.0004	E-III	0.972	13.890	0.0002
E-IV	0.920	13.952	0.0000	E-IV	0.960	5.056	0.0005	E-IV	0.990	5.128	0.0240
E-V	0.976	3.933	0.0086	E-V	0.861	19.461	0.0000	E-V	0.997	1.566	0.2114
BOS	0.965	5.781	0.0007	BOS	0.767	36.609	0.0000	BOS	0.998	0.928	0.3359
V IN	0.986	2.212	0.0859	V IN	0.856	20.175	0.0000	V IN	1.000	0.044	0.8335
AGR	0.999	0.082	0.9701	AGR	0.852	20.875	0.0000	AGR	1.000	0.160	0.6889
URB	0.848	28.832	0.0000	URB	0.944	7.119	0.0000	URB	0.804	117.845	0.0000
SD	0.990	1.543	0.2026	SD	0.929	9.214	0.0000	SD	0.999	0.265	0.6068
GLA	0.992	1.270	0.2838	GLA	0.836	23.620	0.0000	GLA	0.999	0.724	0.3952
PAS	0.983	2.751	0.0422	PAS	0.802	29.754	0.0000	PAS	0.998	1.103	0.2942
G-I	0.942	9.926	0.0000	G-I	0.920	10.390	0.0000	G-I	0.931	36.054	0.0000
G-II	0.977	3.737	0.0112	G-II	0.970	3.708	0.0055	G-II	0.997	1.635	0.2016
G-III	0.937	10.720	0.0000	G-III	0.960	4.984	0.0006	G-III	0.969	15.684	0.0001

DQO				PT				NT			
PME	Lambda de Wilks (λ)	F	p-valor	PME	Lambda de Wilks (λ)	F	p-valor	PME	Lambda de Wilks (λ)	F	p-valor
DP	0.823	34.483	0.0000	DP	0.920	13.968	0.0000	DP	0.850	21.151	0.0000
E-I	0.963	6.257	0.0004	E-I	0.980	3.276	0.0209	E-I	0.948	6.577	0.0000
E-II	0.906	16.598	0.0000	E-II	0.969	5.148	0.0016	E-II	0.969	3.806	0.0047
E-III	0.915	14.855	0.0000	E-III	0.954	7.665	0.0001	E-III	0.974	3.229	0.0124
E-IV	0.917	14.555	0.0000	E-IV	0.988	2.002	0.1128	E-IV	0.940	7.717	0.0000
E-V	0.997	0.536	0.6581	E-V	0.992	1.273	0.2829	E-V	0.952	6.122	0.0001
BOS	1.000	0.041	0.9888	BOS	0.989	1.853	0.1366	BOS	0.868	18.328	0.0000
V IN	0.989	1.815	0.1435	V IN	0.978	3.534	0.0148	V IN	0.972	3.516	0.0076
AGR	0.958	7.056	0.0001	AGR	0.985	2.456	0.0624	AGR	0.974	3.215	0.0127
URB	0.816	36.121	0.0000	URB	0.916	14.658	0.0000	URB	0.808	28.502	0.0000
SD	0.996	0.687	0.5603	SD	0.974	4.241	0.0057	SD	0.974	3.213	0.0128
GLA	0.994	0.901	0.4407	GLA	0.975	4.131	0.0066	GLA	0.981	2.382	0.0507
PAS	0.994	1.016	0.3851	PAS	0.980	3.325	0.0196	PAS	0.905	12.660	0.0000
G-I	0.950	8.382	0.0000	G-I	0.987	2.036	0.1080	G-I	0.941	7.535	0.0000
G-II	0.991	1.387	0.2459	G-II	0.975	4.140	0.0065	G-II	0.959	5.178	0.0004
G-III	0.969	5.070	0.0018	G-III	0.966	5.573	0.0009	G-III	0.912	11.580	0.0000

OD				pH				SO42-			
PME	Lambda de Wilks (λ)	F	p-valor	PME	Lambda de Wilks (λ)	F	p-valor	PME	Lambda de Wilks (λ)	F	p-valor
DP	0.874	17.401	0.0000	DP	0.933	8.703	0.0000	DP	0.968	3.917	0.0039
E-I	0.911	11.797	0.0000	E-I	0.974	3.189	0.0133	E-I	0.949	6.518	0.0000
E-II	0.962	4.814	0.0008	E-II	0.970	3.732	0.0053	E-II	0.993	0.823	0.5108
E-III	0.947	6.727	0.0000	E-III	0.980	2.498	0.0420	E-III	0.978	2.728	0.0288
E-IV	0.956	5.532	0.0002	E-IV	0.981	2.384	0.0506	E-IV	0.997	0.373	0.8282
E-V	0.933	8.678	0.0000	E-V	0.912	11.571	0.0000	E-V	0.927	9.495	0.0000
BOS	0.672	58.681	0.0000	BOS	0.623	72.716	0.0000	BOS	0.767	36.454	0.0000
V IN	0.981	2.323	0.0558	V IN	0.902	13.024	0.0000	V IN	0.887	15.343	0.0000
AGR	0.897	13.808	0.0000	AGR	0.949	6.399	0.0001	AGR	0.884	15.740	0.0000
URB	0.863	19.029	0.0000	URB	0.922	10.187	0.0000	URB	0.978	2.762	0.0272
SD	0.972	3.527	0.0075	SD	0.943	7.251	0.0000	SD	0.925	9.721	0.0000
GLA	0.955	5.730	0.0002	GLA	0.881	16.262	0.0000	GLA	0.843	22.399	0.0000
PAS	0.741	42.090	0.0000	PAS	0.603	79.333	0.0000	PAS	0.778	34.243	0.0000
G-I	0.887	15.279	0.0000	G-I	0.997	0.385	0.8195	G-I	0.995	0.550	0.6995
G-II	0.944	7.078	0.0000	G-II	0.991	1.082	0.3647	G-II	0.954	5.856	0.0001
G-III	0.950	6.332	0.0001	G-III	0.988	1.419	0.2266	G-III	0.960	4.949	0.0006

Serie 9: Total

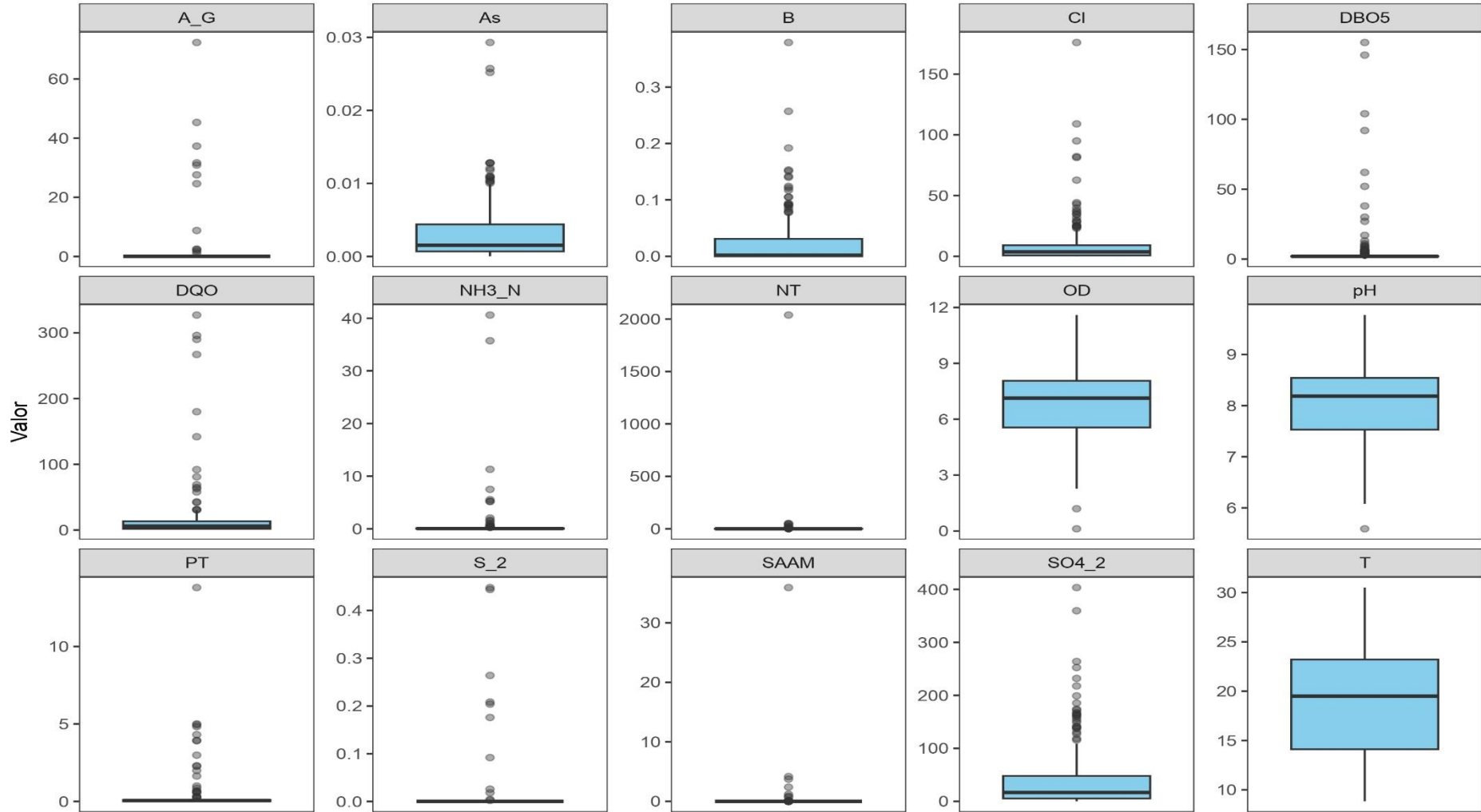
T				As				B			
PME	Lambda de Wilks (λ)	F	p-valor	PME	Lambda de Wilks (λ)	F	p-valor	PME	Lambda de Wilks (λ)	F	p-valor
DP	0.928	9.369	0.0000	DP	0.973	3.315	0.0108	DP	0.985	2.417	0.0657
E-I	0.918	10.713	0.0000	E-I	0.960	5.047	0.0005	E-I	0.993	1.087	0.3540
E-II	0.996	0.485	0.7470	E-II	0.968	4.026	0.0032	E-II	0.984	2.576	0.0533
E-III	0.992	0.917	0.4538	E-III	0.942	7.341	0.0000	E-III	0.989	1.729	0.1601
E-IV	0.996	0.527	0.7163	E-IV	0.986	1.687	0.1518	E-IV	0.987	2.147	0.0935
E-V	0.841	22.726	0.0000	E-V	0.939	7.874	0.0000	E-V	0.941	10.039	0.0000
BOS	0.348	225.694	0.0000	BOS	0.682	55.985	0.0000	BOS	0.671	78.807	0.0000
V IN	0.926	9.566	0.0000	V IN	0.946	6.832	0.0000	V IN	0.936	10.929	0.0000
AGR	0.954	5.752	0.0002	AGR	0.852	20.853	0.0000	AGR	0.996	0.701	0.5516
URB	0.902	13.026	0.0000	URB	0.986	1.705	0.1476	URB	0.978	3.585	0.0138
SD	0.931	8.879	0.0000	SD	0.934	8.524	0.0000	SD	0.974	4.328	0.0050
GLA	0.937	8.133	0.0000	GLA	0.894	14.288	0.0000	GLA	0.799	40.539	0.0000
PAS	0.326	248.748	0.0000	PAS	0.699	51.761	0.0000	PAS	0.669	79.398	0.0000
G-I	0.963	4.626	0.0011	G-I	0.957	5.413	0.0003	G-I	0.992	1.248	0.2917
G-II	0.829	24.807	0.0000	G-II	0.894	14.300	0.0000	G-II	0.994	0.997	0.3940
G-III	0.843	22.400	0.0000	G-III	0.944	7.151	0.0000	G-III	0.994	0.904	0.4390
Li				Mg				Mo			
PME	Lambda de Wilks (λ)	F	p-valor	PME	Lambda de Wilks (λ)	F	p-valor	PME	Lambda de Wilks (λ)	F	p-valor
DP	0.945	9.285	0.0000	DP	0.976	3.016	0.0178	DP	0.995	0.814	0.4863
E-I	0.977	3.787	0.0105	E-I	0.963	4.643	0.0011	E-I	0.962	6.272	0.0004
E-II	0.986	2.333	0.0733	E-II	0.994	0.757	0.5534	E-II	0.991	1.519	0.2088
E-III	0.984	2.596	0.0518	E-III	0.985	1.893	0.1104	E-III	0.987	2.067	0.1037
E-IV	0.983	2.803	0.0394	E-IV	0.990	1.209	0.3062	E-IV	0.991	1.403	0.2412
E-V	0.937	10.836	0.0000	E-V	0.927	9.448	0.0000	E-V	0.953	7.921	0.0000
BOS	0.678	76.419	0.0000	BOS	0.731	44.292	0.0000	BOS	0.679	75.782	0.0000
V IN	0.895	18.809	0.0000	V IN	0.942	7.439	0.0000	V IN	0.865	25.110	0.0000
AGR	0.915	14.850	0.0000	AGR	0.894	14.270	0.0000	AGR	0.870	23.950	0.0000
URB	0.941	10.159	0.0000	URB	0.971	3.628	0.0063	URB	0.998	0.317	0.8133
SD	0.977	3.700	0.0118	SD	0.976	2.956	0.0197	SD	0.938	10.532	0.0000
GLA	0.756	51.924	0.0000	GLA	0.910	11.923	0.0000	GLA	0.860	26.232	0.0000
PAS	0.671	78.684	0.0000	PAS	0.724	45.927	0.0000	PAS	0.711	65.377	0.0000
G-I	0.973	4.447	0.0043	G-I	0.989	1.365	0.2449	G-I	0.984	2.561	0.0543
G-II	0.970	5.032	0.0019	G-II	0.967	4.157	0.0025	G-II	0.997	0.487	0.6914
G-III	0.969	5.074	0.0018	G-III	0.961	4.847	0.0008	G-III	0.988	1.895	0.1294
K				Si				Na			
PME	Lambda de Wilks (λ)	F	p-valor	PME	Lambda de Wilks (λ)	F	p-valor	PME	Lambda de Wilks (λ)	F	p-valor
DP	0.882	16.134	0.0000	DP	0.951	6.251	0.0001	DP	0.930	9.069	0.0000
E-I	0.925	9.681	0.0000	E-I	0.966	4.236	0.0022	E-I	0.915	11.103	0.0000
E-II	0.981	2.336	0.0546	E-II	0.971	3.553	0.0072	E-II	0.993	0.826	0.5089
E-III	0.959	5.195	0.0004	E-III	0.982	2.257	0.0621	E-III	0.983	2.114	0.0779
E-IV	0.970	3.679	0.0058	E-IV	0.988	1.445	0.2181	E-IV	0.985	1.790	0.1295
E-V	0.971	3.628	0.0063	E-V	0.936	8.155	0.0000	E-V	0.953	5.952	0.0001
BOS	0.929	9.202	0.0000	BOS	0.775	34.839	0.0000	BOS	0.807	28.729	0.0000
V IN	0.982	2.264	0.0613	V IN	0.918	10.766	0.0000	V IN	0.842	22.582	0.0000
AGR	0.908	12.239	0.0000	AGR	0.901	13.182	0.0000	AGR	0.863	19.151	0.0000
URB	0.878	16.637	0.0000	URB	0.965	4.413	0.0016	URB	0.940	7.682	0.0000
SD	0.982	2.169	0.0714	SD	0.859	19.795	0.0000	SD	0.931	8.844	0.0000
GLA	0.938	7.888	0.0000	GLA	0.879	16.504	0.0000	GLA	0.818	26.684	0.0000
PAS	0.945	6.955	0.0000	PAS	0.775	34.992	0.0000	PAS	0.843	22.379	0.0000
G-I	0.964	4.488	0.0014	G-I	0.979	2.593	0.0359	G-I	0.917	10.866	0.0000
G-II	0.976	2.901	0.0216	G-II	0.994	0.748	0.5594	G-II	0.974	3.221	0.0126
G-III	0.955	5.707	0.0002	G-III	0.989	1.380	0.2399	G-III	0.960	5.011	0.0006

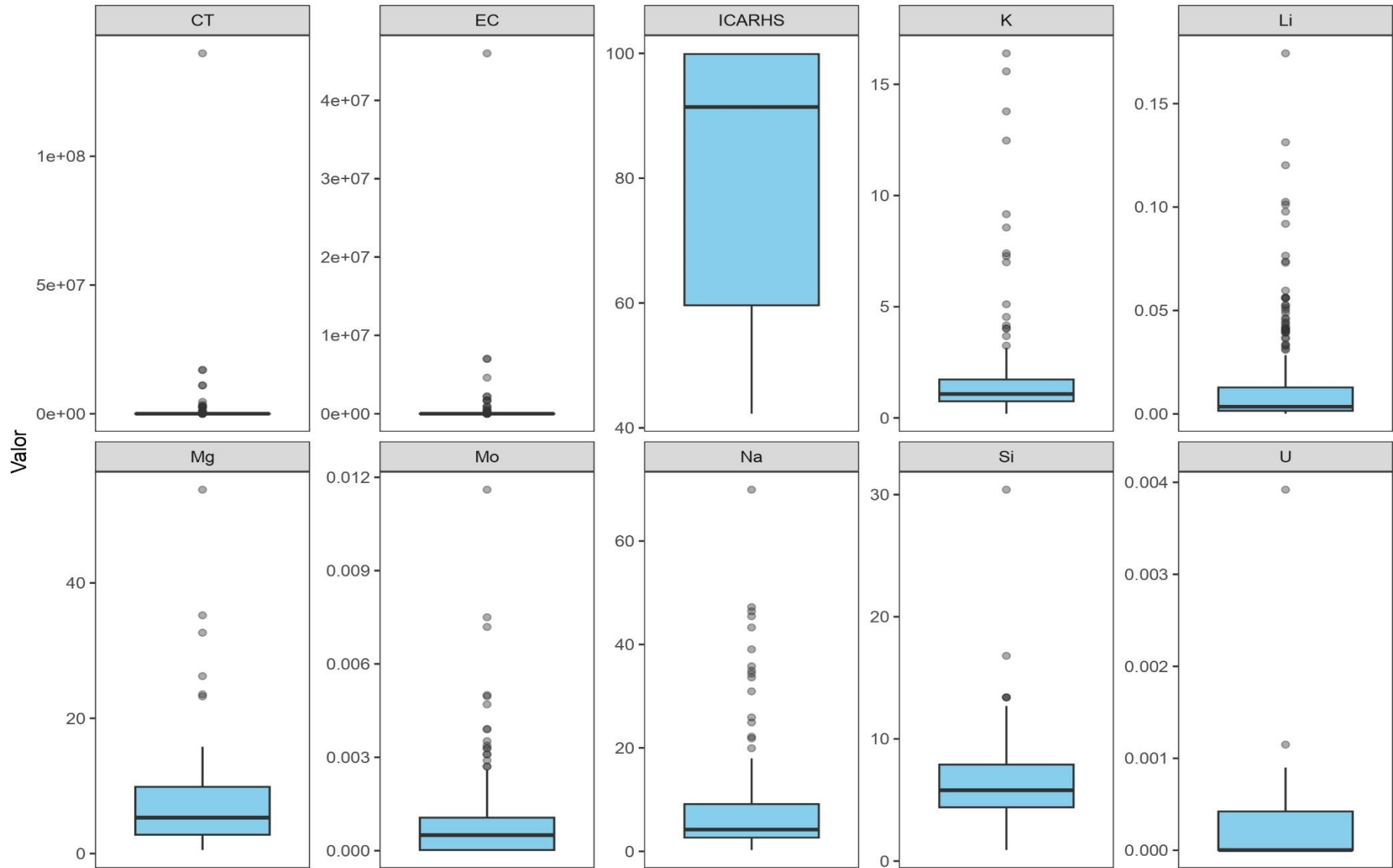
Serie 9: Total

U				CT				EC			
PME	Lambda de Wilks (λ)	F	p-valor	PME	Lambda de Wilks (λ)	F	p-valor	PME	Lambda de Wilks (λ)	F	p-valor
DP	0.998	0.579	0.5606	DP	0.838	23.268	0.0000	DP	0.859	19.766	0.0000
E-I	0.998	0.590	0.5547	E-I	0.985	1.871	0.1143	E-I	0.979	2.550	0.0385
E-II	0.984	3.964	0.0196	E-II	0.988	1.468	0.2107	E-II	0.983	2.115	0.0779
E-III	0.986	3.379	0.0349	E-III	0.997	0.315	0.8676	E-III	0.995	0.562	0.6902
E-IV	0.991	2.121	0.1210	E-IV	0.978	2.649	0.0328	E-IV	0.969	3.887	0.0041
E-V	0.980	4.831	0.0084	E-V	0.992	0.941	0.4401	E-V	0.988	1.427	0.2238
BOS	0.856	40.739	0.0000	BOS	0.978	2.750	0.0277	BOS	0.977	2.793	0.0258
V IN	0.995	1.256	0.2858	V IN	0.972	3.467	0.0083	V IN	0.972	3.404	0.0092
AGR	0.995	1.334	0.2645	AGR	0.920	10.450	0.0000	AGR	0.943	7.329	0.0000
URB	0.998	0.586	0.5570	URB	0.772	35.556	0.0000	URB	0.798	30.527	0.0000
SD	0.993	1.775	0.1707	SD	0.950	6.349	0.0001	SD	0.950	6.316	0.0001
GLA	0.992	2.069	0.1275	GLA	0.984	2.016	0.0911	GLA	0.990	1.239	0.2936
PAS	0.841	45.673	0.0000	PAS	0.974	3.260	0.0118	PAS	0.977	2.884	0.0222
G-I	0.999	0.355	0.7012	G-I	0.938	7.931	0.0000	G-I	0.940	7.611	0.0000
G-II	0.995	1.165	0.3128	G-II	0.974	3.246	0.0121	G-II	0.987	1.576	0.1794
G-III	0.995	1.330	0.2655	G-III	0.941	7.509	0.0000	G-III	0.957	5.407	0.0003

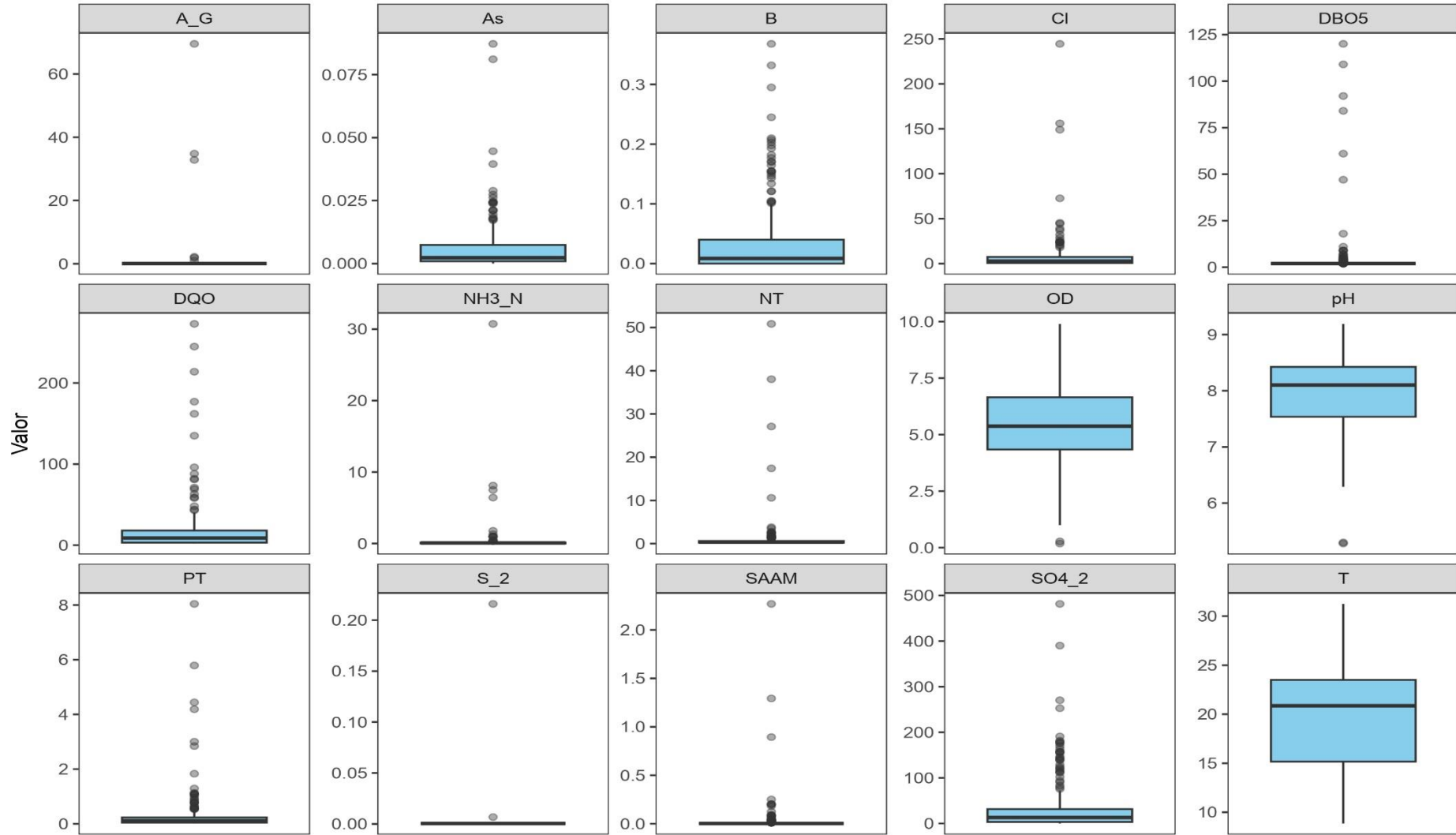
E-4 : DEPURACIÓN DE DATOS

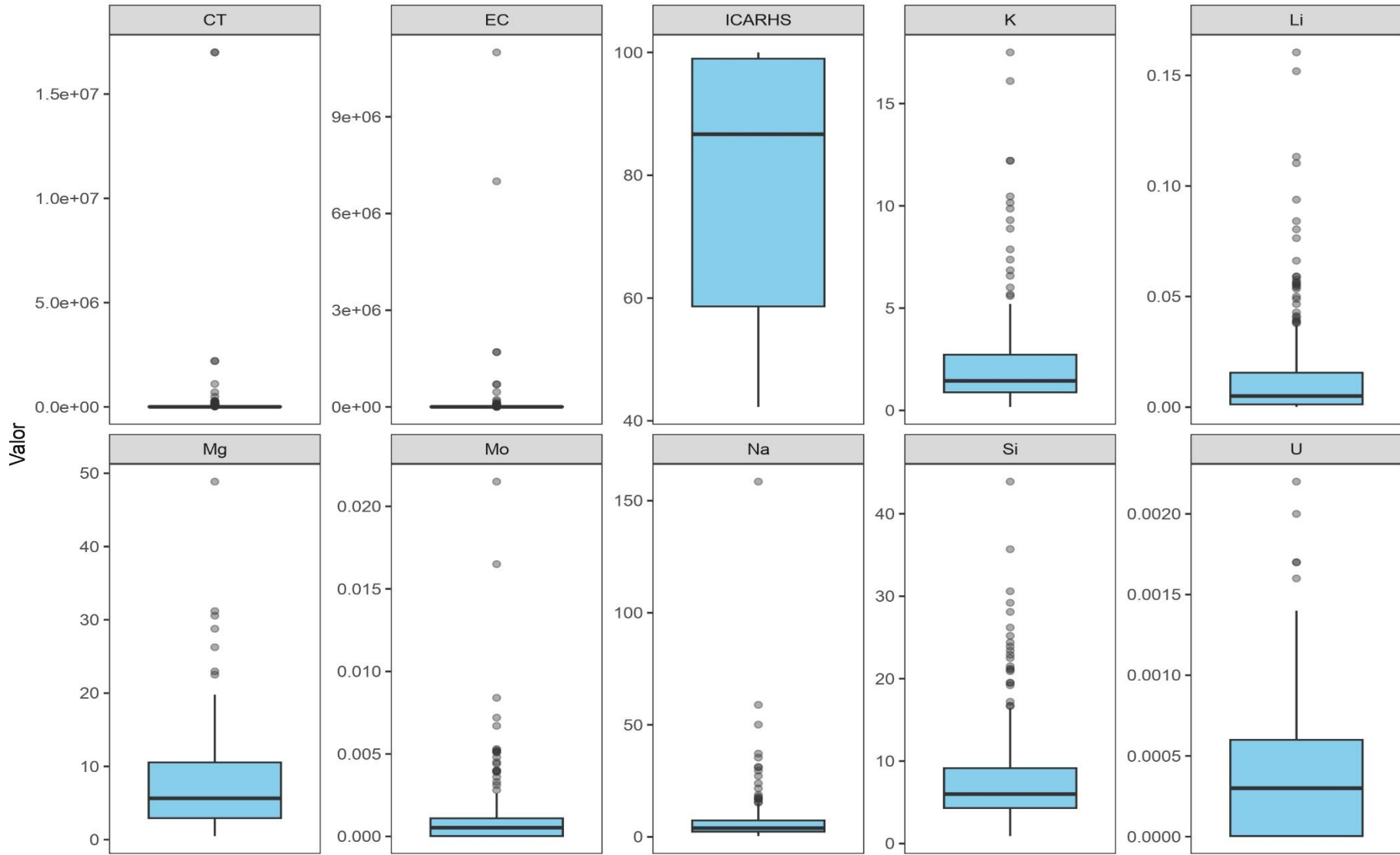
Serie 8: Estiaje



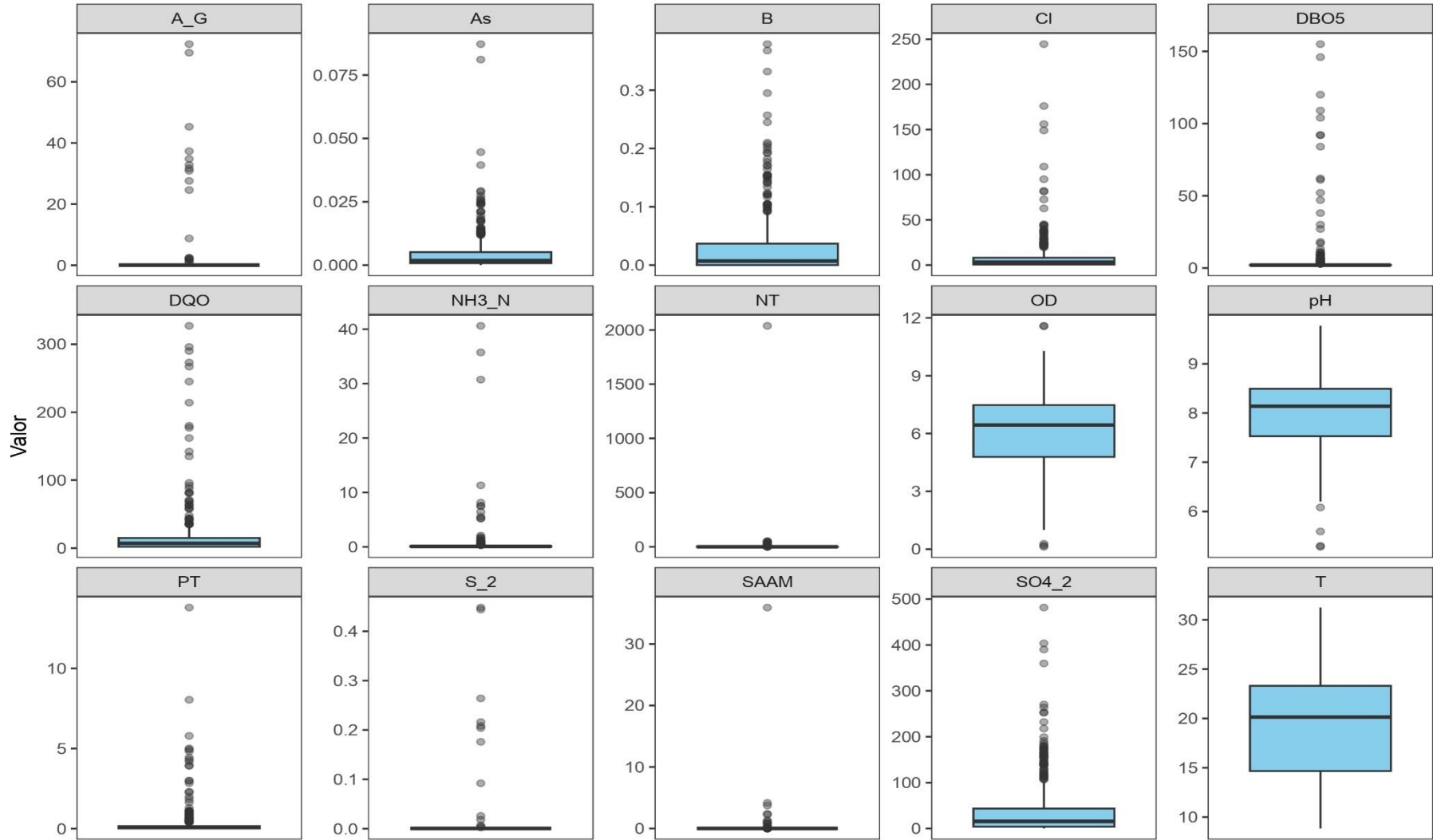


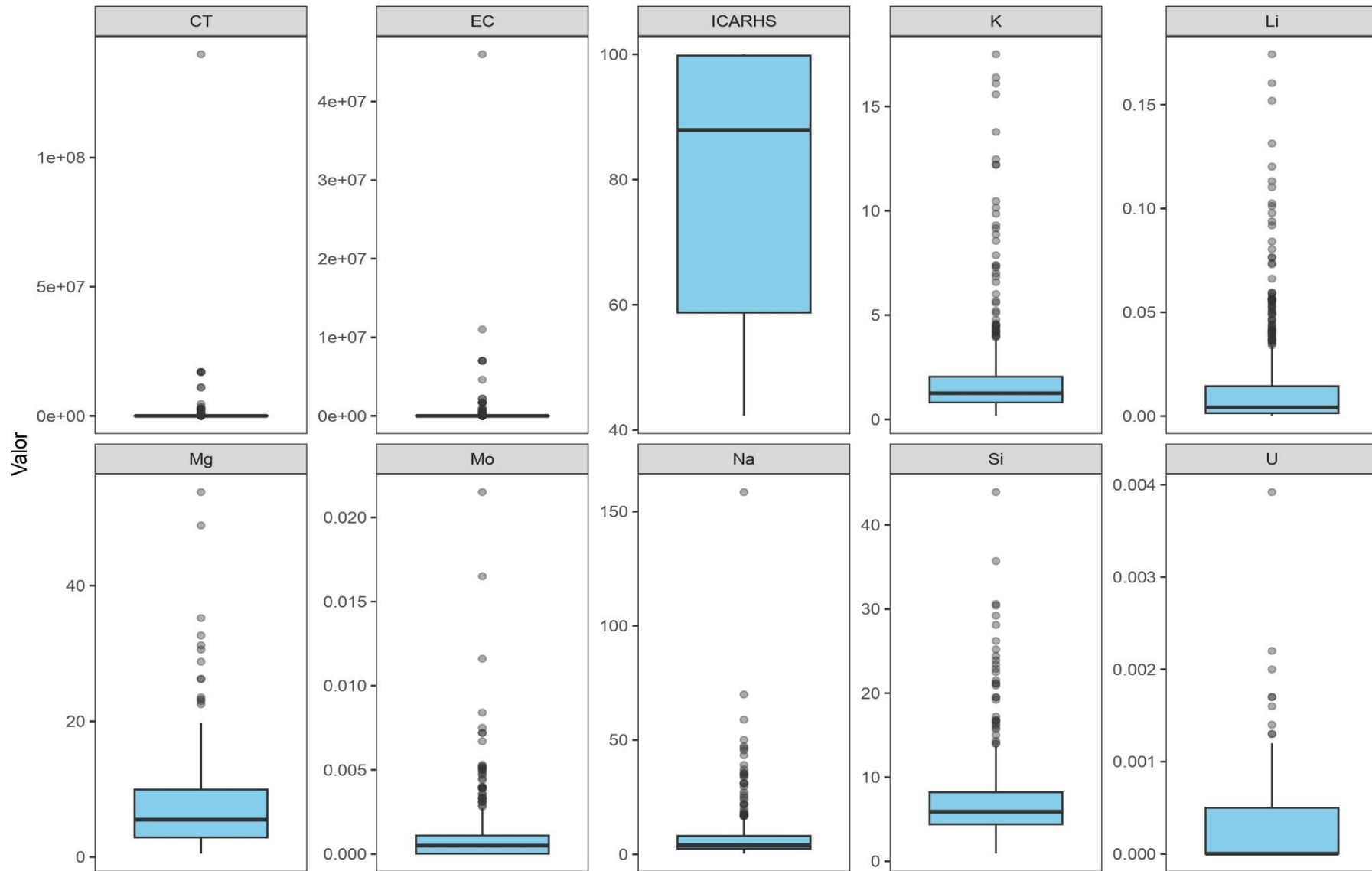
Serie 8: Avenida





Serie 9: Total





E-5 : DISTANCIAS PONDERADAS**Tabla 58.** Resultados detallados obtenidos para la Distancia Radial

Subcuenca	1/r					1/Ln(r)				
	UAT	DP	EH	GEO	SUMA	UAT	DP	EH	GEO	SUMA
1	6 609.44	5 405.63	8 458.79	13 837.52	34 311.38	5 078 768.72	4 180 819.82	7 978 113.75	13 453 529.08	30 691 231.37
2	6 318.89	5 151.27	7 926.90	13 026.53	32 423.58	4 492 203.37	3 656 349.32	6 775 353.42	11 620 266.45	26 544 172.56
3	6 010.46	4 776.57	7 499.98	12 473.08	30 760.09	4 187 118.61	3 326 033.61	6 194 567.73	10 799 927.33	24 507 647.28
4	5 776.36	4 636.96	7 287.43	12 183.73	29 884.48	4 007 482.73	3 213 869.79	6 012 478.30	10 531 851.21	23 765 682.03
5	5 626.38	4 523.58	7 093.90	11 943.10	29 186.97	3 901 834.04	3 128 180.50	5 846 936.28	10 296 732.91	23 173 683.74
6	5 372.08	4 265.89	6 666.83	11 324.34	27 629.13	3 567 257.69	2 857 460.62	5 216 265.11	9 285 594.94	20 926 578.36
7	5 243.43	4 169.00	6 464.49	11 047.47	26 924.39	3 346 301.65	2 685 043.61	4 809 924.14	8 670 081.66	19 511 351.06
8	4 920.67	3 930.69	6 033.54	10 472.85	25 357.75	3 087 055.09	2 465 897.91	4 352 032.91	7 974 874.45	17 879 860.36
9	4 552.23	3 487.13	5 402.54	9 563.58	23 005.47	2 796 953.27	2 116 081.95	3 759 843.64	7 028 639.54	15 701 518.39
10	4 235.09	3 241.77	4 921.46	8 832.34	21 230.67	2 594 716.76	1 950 979.10	3 376 554.62	6 471 781.25	14 394 031.73
11	4 170.43	3 140.43	4 821.87	8 704.17	20 836.89	2 580 011.09	1 924 352.68	3 346 369.74	6 429 307.62	14 280 041.12
12	3 966.57	2 908.39	4 469.52	8 063.56	19 408.04	2 440 331.53	1 788 854.86	3 094 607.33	5 906 944.63	13 230 738.36
13	3 435.70	2 576.09	3 731.56	6 679.96	16 423.32	1 950 761.85	1 468 957.04	2 389 979.07	4 501 563.25	10 311 261.21
14	3 030.44	2 280.05	3 325.15	5 900.14	14 535.79	1 734 345.94	1 307 719.78	2 131 589.04	3 979 698.05	9 153 352.82
15	2 776.93	2 066.46	3 085.65	5 483.34	13 412.38	1 533 407.83	1 122 790.50	1 916 619.60	3 590 298.65	8 163 116.58
16	2 674.94	1 938.15	3 023.92	5 373.01	13 010.03	1 497 776.24	1 067 858.53	1 888 305.86	3 532 428.59	7 986 369.22
17	2 645.47	1 906.82	3 014.07	5 362.58	12 928.94	1 495 543.60	1 065 171.92	1 887 311.57	3 531 158.64	7 979 185.74
18	2 405.03	1 726.77	2 796.07	4 958.78	11 886.64	1 309 624.50	964 017.24	1 696 607.60	3 124 998.59	7 095 247.93
19	2 132.09	1 509.10	2 567.14	4 573.53	10 781.87	1 197 472.04	870 907.48	1 580 591.56	2 910 908.30	6 559 879.38
20	2 052.68	1 450.38	2 507.32	4 473.84	10 484.21	1 177 798.77	853 464.29	1 561 371.46	2 876 910.57	6 469 545.10
21	1 960.02	1 323.32	2 438.72	4 376.90	10 098.95	1 154 998.15	812 423.75	1 538 805.20	2 842 174.76	6 348 401.85
22	1 191.50	724.23	1 540.20	2 807.03	6 262.96	672 321.05	441 089.90	971 774.09	1 832 798.14	3 917 983.17
23	924.32	563.82	1 209.08	2 217.04	4 914.26	585 625.72	387 758.86	862 819.56	1 641 216.63	3 477 420.76
24	911.53	557.15	1 193.84	2 189.48	4 852.00	584 436.62	387 056.01	861 213.93	1 638 376.48	3 471 083.05

25	532.30	376.05	627.35	1 118.04	2 653.75	318 460.70	209 104.43	368 528.49	706 116.76	1 602 210.38
26	364.83	292.28	415.05	736.27	1 808.43	187 873.32	142 986.03	208 057.67	398 094.54	937 011.56
27	787.44	497.79	1 049.40	1 925.50	4 260.13	524 806.40	357 597.67	788 515.44	1 503 234.68	3 174 154.18
28	770.36	488.23	1 023.03	1 883.33	4 164.95	523 166.45	356 718.56	786 026.82	1 499 210.03	3 165 121.86
29	148.64	138.26	247.20	469.13	1 003.23	127 174.95	111 205.93	225 670.72	472 353.91	936 405.51
30	525.48	269.06	551.47	1 052.81	2 398.82	294 737.91	148 295.73	311 363.33	602 603.69	1 357 000.66
31	253.17	178.93	278.56	483.99	1 194.65	119 262.68	73 934.21	126 163.87	235 447.03	554 807.78
32	376.14	196.36	368.90	694.93	1 636.32	230 248.74	116 490.33	233 439.28	446 538.72	1 026 717.08
33	191.10	204.32	339.20	524.29	1 258.91	299 602.10	241 732.14	580 960.59	952 085.44	2 074 380.28
34	165.25	86.36	201.70	355.11	808.42	64 686.39	33 727.79	83 036.99	150 611.19	332 062.35
35	130.90	79.74	149.87	294.72	655.23	39 504.78	27 070.85	46 365.71	95 912.30	208 853.64
36	331.73	171.62	334.84	653.09	1 491.29	218 023.76	110 384.01	224 721.19	434 860.36	987 989.32
37	163.98	123.31	178.01	281.93	747.23	73 066.88	48 772.61	76 262.14	126 564.94	324 666.57
38	132.20	110.23	275.14	444.31	961.88	288 125.37	217 876.65	563 227.37	930 401.83	1 999 631.22
39	116.88	75.36	143.58	258.09	593.90	89 886.83	65 501.24	131 560.10	257 743.42	544 691.59
40	190.31	106.53	188.62	368.21	853.68	178 213.08	88 493.97	185 491.90	398 456.88	850 655.82
41	161.63	125.37	142.71	301.96	731.68	75 931.31	55 029.55	79 440.10	163 205.17	373 606.14
42	141.46	116.65	122.70	199.74	580.55	57 312.61	44 863.49	62 634.67	114 442.82	279 253.58
43	103.89	51.60	139.49	222.98	517.96	41 005.74	20 469.96	54 318.42	81 335.15	197 129.28
44	123.22	55.94	114.75	203.31	497.22	59 823.85	25 646.79	52 838.68	95 469.83	233 779.17
45	86.78	70.23	173.07	224.96	555.04	270 256.23	216 331.54	566 789.16	735 924.38	1 789 301.31
46	19.74	17.95	40.99	44.40	123.08	24 389.81	23 820.05	61 394.53	69 283.60	178 887.99
47	65.37	56.61	141.69	198.21	461.88	177 099.53	143 360.32	377 793.76	551 511.49	1 249 765.09
48	99.18	82.70	205.64	309.82	697.33	278 730.07	209 369.93	542 634.50	889 437.32	1 920 171.82
49	72.24	62.92	130.99	205.46	471.62	57 317.76	52 682.15	118 181.36	183 372.54	411 553.82
50	57.79	56.14	126.15	215.24	455.32	95 254.71	94 987.38	205 762.55	381 579.79	777 584.42
51	40.29	30.03	67.46	101.43	239.21	37 725.22	35 479.73	86 367.74	143 723.29	303 295.98
52	16.11	7.38	13.16	14.90	51.55	5 298.51	3 479.72	7 002.84	8 573.97	24 355.03
53	25.00	22.34	42.83	69.73	159.91	15 481.31	14 378.76	29 139.49	47 829.18	106 828.73

54	87.58	81.71	188.93	251.18	609.40	116 374.71	111 169.73	262 933.00	345 782.83	836 260.27
55	25.05	17.79	28.97	42.73	114.54	4 734.52	3 413.56	7 004.05	11 651.87	26 804.00
56	12.42	10.11	8.66	13.94	45.14	1 337.96	1 515.25	1 534.75	2 201.52	6 589.48
57	10.67	5.22	11.78	15.43	43.10	1 623.73	1 294.34	3 170.50	3 839.41	9 927.98
58	19.19	21.51	8.84	5.58	55.11	1 722.19	2 152.82	954.67	695.08	5 524.76
59	7.34	8.85	3.89	3.19	23.27	592.77	1 070.58	493.85	512.32	2 669.52
60	11.69	17.62	7.25	6.33	42.90	2 077.28	4 159.50	1 814.56	1 837.12	9 888.45
61	13.63	10.43	20.37	23.46	67.89	3 691.39	3 080.85	6 755.13	8 592.33	22 119.70
62	14.98	29.45	21.28	26.44	92.15	3 592.12	9 371.05	7 305.56	9 229.72	29 498.46
63	87.78	68.09	153.25	333.61	642.72	113 060.81	88 845.94	197 184.69	431 537.18	830 628.61
64	14.57	21.35	26.19	42.57	104.68	4 904.16	8 896.05	11 545.61	18 142.29	43 488.12
65	14.92	15.42	36.16	69.26	135.75	6 651.53	6 676.07	15 921.79	31 566.19	60 815.58
66	13.45	11.51	27.33	36.91	89.20	4 713.98	4 648.27	11 321.37	14 723.59	35 407.20
67	7.97	11.70	13.14	22.73	55.54	1 566.19	2 954.81	3 398.61	5 210.76	13 130.37
68	52.15	42.55	96.38	211.71	402.79	50 330.14	42 236.57	92 702.63	207 945.54	393 214.87
69	17.34	9.37	20.59	25.67	72.97	4 129.28	2 159.59	4 968.81	7 250.15	18 507.84
70	124.83	59.27	136.93	283.48	604.51	162 701.18	76 527.20	171 763.13	373 981.50	784 973.00
71	86.78	41.07	86.32	178.75	392.91	54 693.31	27 687.14	60 863.07	120 408.76	263 652.28
72	47.97	22.92	55.66	98.17	224.72	35 392.30	17 797.38	43 297.33	79 672.96	176 159.96
73	85.52	84.91	107.73	201.72	479.87	65 727.30	65 386.05	78 423.41	156 560.42	366 097.19
74	54.05	26.98	59.92	130.37	271.33	40 876.04	20 396.04	43 166.74	97 022.70	201 461.52
75	41.16	38.53	48.37	95.98	224.04	15 409.18	15 157.66	18 002.05	37 648.02	86 216.91
76	46.41	22.54	57.17	110.05	236.18	20 479.83	10 091.00	25 976.97	48 711.39	105 259.19
77	43.14	37.33	48.45	94.30	223.22	15 464.99	14 520.89	18 331.30	35 993.64	84 310.81
78	30.92	15.45	43.28	69.59	159.23	12 351.38	6 159.89	16 752.84	25 481.42	60 745.53
79	7.32	3.64	9.18	12.84	32.98	658.60	326.14	821.99	1 215.14	3 021.87
80	65.04	30.81	69.79	147.17	312.80	38 028.87	18 875.07	41 599.68	86 768.78	185 272.41
81	56.04	24.30	54.60	106.97	241.92	30 313.44	11 881.89	27 416.31	54 902.88	124 514.51

Tabla 59. Resultados detallados obtenidos para la Distancia Paralela

Subcuenca	1/r					1/Ln(r)				
	UAT	DP	EH	GEO	SUMA	UAT	DP	EH	GEO	SUMA
1	48 708.07	41 609.15	76 910.90	113 040.53	280 268.65	6 210 742.09	5 124 907.89	9 885 907.27	16 578 085.42	37 799 642.67
2	44 134.20	37 126.48	66 619.92	99 415.24	247 295.85	5 453 435.88	4 444 990.88	8 323 710.25	14 211 091.74	32 433 228.76
3	41 371.87	33 824.84	61 426.14	93 197.83	229 820.68	5 069 777.12	4 034 713.37	7 586 784.78	13 169 013.30	29 860 288.56
4	40 027.44	32 780.09	59 956.14	91 713.16	224 476.84	4 859 218.23	3 902 103.69	7 374 785.41	12 862 445.34	28 998 552.67
5	39 300.19	32 394.54	59 360.96	91 110.81	222 166.51	4 807 499.88	3 871 685.94	7 324 015.66	12 798 028.87	28 801 230.34
6	35 589.03	29 334.96	52 603.35	81 565.57	199 092.89	4 280 571.43	3 457 370.17	6 368 944.61	11 280 164.93	25 387 051.15
7	35 290.86	29 023.35	52 134.05	81 207.04	197 655.30	4 240 257.42	3 423 434.05	6 311 403.51	11 213 561.01	25 188 655.99
8	33 229.35	27 098.82	47 851.34	75 258.88	183 438.38	3 949 323.14	3 191 986.80	5 768 944.12	10 389 235.07	23 299 489.14
9	28 382.67	22 770.74	39 275.57	63 034.06	153 463.03	3 380 510.50	2 682 177.89	4 675 852.66	8 619 334.55	19 357 875.59
10	25 197.81	18 613.30	33 658.15	57 211.15	134 680.42	3 075 379.21	2 287 863.09	4 061 430.24	7 813 659.78	17 238 332.32
11	25 080.59	18 412.82	33 564.42	57 163.64	134 221.47	3 071 586.93	2 281 435.60	4 058 466.76	7 811 257.37	17 222 746.66
12	21 701.64	14 979.32	26 941.67	45 766.77	109 389.40	2 624 744.74	1 860 787.89	3 175 905.97	6 102 234.67	13 763 673.27
13	21 319.99	14 457.38	26 045.32	44 386.64	106 209.33	2 596 991.25	1 820 653.77	3 110 662.26	5 984 801.02	13 513 108.29
14	16 030.33	10 646.66	17 056.01	28 059.45	71 792.45	1 856 292.89	1 319 183.09	2 042 467.20	3 811 820.64	9 029 763.83
15	15 551.85	10 311.37	16 651.12	27 324.20	69 838.54	1 803 376.69	1 276 144.39	1 994 956.95	3 707 546.62	8 782 024.65
16	13 268.61	8 439.87	14 453.47	23 720.15	59 882.09	1 556 363.07	1 050 265.84	1 731 881.79	3 231 542.99	7 570 053.70
17	12 828.52	7 992.66	14 264.68	23 467.00	58 552.86	1 516 816.34	990 930.73	1 701 579.96	3 170 508.31	7 379 835.33
18	11 059.39	7 148.07	12 580.29	20 515.22	51 302.97	1 294 681.67	880 427.94	1 472 529.68	2 683 126.62	6 330 765.91
19	10 360.24	6 608.57	12 047.15	19 717.25	48 733.20	1 222 147.78	817 974.04	1 397 202.45	2 548 210.46	5 985 534.72
20	9 804.28	6 272.83	11 741.65	19 303.35	47 122.11	1 160 655.83	765 162.00	1 339 273.20	2 441 168.25	5 706 259.27
21	9 606.27	6 143.81	11 617.31	19 125.92	46 493.31	1 139 648.27	746 845.42	1 319 149.22	2 405 661.14	5 611 304.06
22	4 741.18	3 363.28	5 930.71	9 681.92	23 717.09	467 455.95	352 923.44	573 721.14	981 741.70	2 375 842.23
23	1 518.71	946.31	1 800.62	3 259.82	7 525.46	133 519.19	82 373.49	159 332.70	310 864.69	686 090.07
24	1 361.51	802.49	1 582.96	2 904.28	6 651.23	126 035.99	75 368.64	149 259.10	293 525.39	644 189.12
25	4 606.90	2 481.11	5 532.13	9 267.56	21 887.70	647 836.01	350 937.76	721 821.32	1 387 800.06	3 108 395.15

26	4 196.79	2 302.86	5 126.94	8 673.87	20 300.46	603 051.91	328 947.13	668 805.12	1 290 339.76	2 891 143.92
27	1 180.83	721.89	1 378.24	2 511.74	5 792.71	102 336.30	63 621.49	119 181.50	237 311.40	522 450.70
28	1 109.34	655.14	1 314.88	2 396.08	5 475.43	99 179.04	59 694.09	115 469.11	230 783.51	505 125.76
29	3 067.42	2 918.59	6 120.90	10 933.17	23 040.08	429 254.93	387 760.79	846 569.82	1 659 141.64	3 322 727.18
30	1 073.77	636.21	1 259.13	2 307.80	5 276.90	97 421.15	58 755.23	112 794.04	226 468.19	495 438.61
31	2 668.14	1 260.91	2 982.24	5 142.91	12 054.21	374 919.53	176 306.42	388 503.71	750 146.88	1 689 876.54
32	1 032.00	614.91	1 195.43	2 203.39	5 045.72	95 327.67	57 651.64	109 653.94	221 168.89	483 802.14
33	2 627.39	2 288.95	5 550.14	8 244.58	18 711.06	400 222.50	312 861.55	761 041.95	1 243 626.43	2 717 752.41
34	402.02	456.23	339.10	399.75	1 597.11	17 202.82	30 363.39	25 489.47	31 223.93	104 279.61
35	1 097.56	618.31	1 476.89	2 461.30	5 654.06	92 486.18	54 867.85	116 755.24	217 311.90	481 421.17
36	894.08	510.97	1 042.55	1 945.38	4 392.97	89 113.84	52 131.78	101 790.05	207 441.67	450 477.35
37	1 636.17	750.74	1 613.29	2 621.91	6 622.10	254 776.74	116 755.33	248 619.07	460 933.92	1 081 085.06
38	2 479.70	2 176.27	5 399.92	8 113.22	18 169.11	386 153.92	305 682.45	750 916.62	1 230 504.35	2 673 257.34
39	588.38	510.42	1 224.51	2 517.13	4 840.43	72 528.99	61 648.02	137 510.59	302 390.99	574 078.60
40	1 710.02	783.60	1 666.23	2 934.61	7 094.46	219 727.42	107 634.21	227 999.88	486 058.74	1 041 420.26
41	711.94	428.22	591.55	1 010.90	2 742.60	86 196.89	60 805.46	89 808.19	182 050.61	418 861.15
42	550.85	328.74	454.37	725.01	2 058.97	63 910.28	48 489.45	69 648.18	126 728.38	308 776.28
43	386.59	191.81	528.57	793.52	1 900.49	45 590.03	22 760.24	60 620.58	90 810.00	219 780.84
44	315.73	156.92	294.06	425.69	1 192.40	63 404.66	27 360.47	56 206.18	100 751.09	247 722.40
45	2 247.94	1 961.22	5 150.98	5 663.62	15 023.76	360 495.27	291 446.97	760 891.37	982 172.01	2 395 005.62
46	369.35	341.82	792.65	794.81	2 298.63	32 668.31	31 847.33	81 487.97	91 786.48	237 790.09
47	1 318.90	1 242.78	3 133.85	4 177.51	9 873.04	230 641.88	188 092.09	492 511.38	724 225.06	1 635 470.42
48	2 356.26	1 948.14	5 195.80	7 929.98	17 430.18	371 473.86	280 147.59	725 234.72	1 196 961.40	2 573 817.57
49	781.75	679.43	1 329.85	2 056.36	4 847.40	72 551.49	66 303.72	147 202.56	228 347.86	514 405.64
50	1 080.33	1 082.04	2 309.99	3 744.18	8 216.55	125 731.14	125 365.73	268 871.58	497 902.77	1 017 871.22
51	448.45	379.32	931.01	1 357.53	3 116.30	47 741.49	44 772.14	109 183.09	180 750.75	382 447.48
52	152.23	64.92	102.11	108.40	427.65	6 786.41	4 326.78	8 542.68	10 438.89	30 094.77
53	246.35	194.80	317.61	425.08	1 183.85	19 167.31	17 535.31	34 910.76	56 917.92	128 531.30

54	1 091.99	1 049.62	2 506.06	2 649.30	7 296.97	146 160.73	139 733.77	330 307.79	428 984.93	1 045 187.22
55	90.37	49.04	77.06	103.52	320.00	5 391.00	3 812.92	7 774.09	12 834.99	29 812.99
56	52.55	42.39	35.76	61.07	191.78	1 625.84	1 818.20	1 825.61	2 643.81	7 913.45
57	49.58	27.57	59.32	82.36	218.83	1 965.32	1 558.51	3 799.06	4 627.60	11 950.49
58	48.83	52.42	20.18	12.26	133.69	1 945.40	2 400.10	1 053.00	758.54	6 157.04
59	29.62	32.57	13.11	9.44	84.74	721.59	1 243.67	566.92	576.83	3 109.01
60	120.99	148.03	61.21	44.90	375.13	2 875.09	5 405.62	2 332.10	2 306.59	12 919.41
61	66.50	46.41	92.71	117.55	323.17	4 335.97	3 594.15	7 893.67	10 088.49	25 912.28
62	80.80	135.99	87.92	116.80	421.51	4 293.35	10 953.29	8 439.19	10 740.94	34 426.77
63	735.27	632.77	1 431.58	3 130.22	5 929.84	135 030.99	107 376.28	237 686.89	522 729.55	1 002 823.71
64	17.93	27.81	34.96	56.55	137.24	5 109.64	9 295.69	12 087.28	18 933.27	45 425.87
65	132.52	132.99	303.09	561.97	1 130.58	8 441.66	8 464.05	20 144.43	39 832.70	76 882.84
66	77.27	72.00	175.88	226.18	551.33	5 733.31	5 647.72	13 788.12	17 838.68	43 007.84
67	35.01	59.30	67.48	121.88	283.67	1 858.98	3 519.13	4 055.44	6 269.15	15 702.69
68	451.00	390.67	882.92	1 947.91	3 672.49	61 807.90	51 936.13	113 726.36	255 922.07	483 392.46
69	46.88	28.44	56.18	57.27	188.76	4 586.71	2 418.23	5 517.46	7 906.60	20 428.99
70	1 400.40	617.65	1 509.01	2 733.24	6 260.30	201 780.72	94 286.73	212 868.33	459 608.01	968 543.79
71	468.60	212.49	460.28	775.63	1 917.01	63 318.37	31 891.72	70 242.22	137 296.24	302 748.55
72	253.98	117.72	292.65	539.12	1 203.46	40 083.71	20 115.55	49 212.79	90 557.87	199 969.92
73	467.54	491.93	688.99	1 102.48	2 750.95	75 343.51	75 200.60	91 253.14	179 180.96	420 978.20
74	248.40	134.32	321.18	664.74	1 368.64	45 518.08	22 793.09	48 733.59	108 790.23	225 834.99
75	169.55	165.31	224.09	413.14	972.08	17 773.74	17 508.71	20 983.97	43 529.33	99 795.76
76	160.60	70.73	181.10	349.73	762.16	22 474.55	11 024.84	28 422.37	53 288.70	115 210.46
77	180.98	168.73	237.68	419.56	1 006.94	17 661.30	16 670.12	21 286.75	41 281.07	96 899.23
78	146.61	73.24	209.17	332.82	761.83	14 400.51	7 182.03	19 617.22	29 699.47	70 899.23
79	16.65	8.29	20.76	27.94	73.64	731.21	362.06	913.94	1 340.21	3 347.41
80	517.59	254.74	581.14	1 090.95	2 444.42	46 830.94	23 290.35	51 499.56	106 217.85	227 838.70
81	98.35	52.08	109.39	194.74	454.56	31 692.69	12 529.92	28 834.81	57 621.94	130 679.36

Tabla 60. Resultados detallados obtenidos para la Distancia Hidrológica

Subcuenca	UAT	DP	1/r EH	GEO	SUMA
1	17 746.21	16 891.08	36 458.93	36 640.69	107 736.91
2	15 164.54	14 904.33	30 812.29	32 757.87	93 639.03
3	14 071.04	13 526.49	28 218.57	31 393.76	87 209.85
4	13 851.66	13 382.37	28 026.90	31 190.19	86 451.12
5	13 763.39	13 337.94	27 962.12	31 125.17	86 188.62
6	12 321.43	11 190.01	23 233.01	26 863.39	73 607.84
7	12 297.72	11 172.73	23 210.09	26 841.14	73 521.68
8	11 475.39	10 226.69	20 722.21	24 234.04	66 658.34
9	9 867.50	8 393.86	16 802.23	19 909.69	54 973.27
10	9 266.64	7 451.89	15 220.41	18 895.90	50 834.84
11	9 266.21	7 451.24	15 220.17	18 895.72	50 833.34
12	7 882.80	5 266.28	10 670.25	14 170.25	37 989.58
13	7 869.11	5 248.93	10 643.08	14 121.76	37 882.87
14	6 575.79	4 173.26	7 523.85	9 552.95	27 825.84
15	6 534.12	4 143.94	7 493.60	9 480.68	27 652.34
16	6 084.93	3 787.74	7 097.32	8 859.14	25 829.13
17	6 058.57	3 752.22	7 081.53	8 834.84	25 727.17
18	5 289.05	3 437.91	6 553.28	8 218.02	23 498.26
19	5 169.78	3 379.63	6 477.54	8 093.41	23 120.37
20	5 132.50	3 352.48	6 451.20	8 059.59	22 995.77
21	5 123.21	3 344.96	6 443.96	8 050.86	22 962.98
22	1 961.28	1 417.54	2 354.84	3 064.35	8 798.00
23	350.64	192.16	353.60	635.73	1 532.14
24	264.74	123.30	235.01	456.59	1 079.64
25	2 863.98	1 593.19	3 940.40	4 919.01	13 316.58
26	2 265.31	1 330.43	3 422.39	4 743.25	11 761.38
27	233.75	110.97	207.17	398.29	950.18
28	197.37	85.28	187.90	354.75	825.30
29	1 362.75	1 986.25	4 346.49	4 671.29	12 366.77
30	183.98	78.29	164.77	320.38	747.43
31	1 539.67	690.51	1 959.35	3 090.95	7 280.48
32	164.97	70.12	134.28	278.96	648.33
33	1 197.35	1 894.59	4 346.01	3 907.13	11 345.08
34	16.41	24.90	14.01	17.08	72.40
35	150.59	71.91	181.51	324.23	728.23
36	127.80	53.64	114.73	237.20	533.36
37	622.35	251.82	605.88	922.61	2 402.66
38	1 056.05	1 649.90	3 994.59	3 746.90	10 447.44
39	159.77	136.36	396.58	677.31	1 370.02
40	768.00	314.13	528.19	616.49	2 226.82
41	149.79	87.20	80.16	103.43	420.58

42	118.26	56.58	75.13	123.95	373.93
43	45.13	21.60	55.17	69.40	191.31
44	54.03	28.75	44.00	62.34	189.12
45	1 917.25	1 346.55	4 225.88	2 044.44	9 534.11
46	71.27	53.26	119.26	54.33	298.12
47	592.24	750.34	2 034.06	1 051.58	4 428.21
48	959.45	1 196.56	3 541.84	3 557.47	9 255.33
49	132.50	130.38	230.34	307.45	800.66
50	521.64	578.39	1 546.47	1 955.89	4 602.39
51	102.37	94.34	230.15	304.57	731.43
52	6.39	2.42	3.56	3.22	15.60
53	18.95	14.74	20.82	20.99	75.51
54	388.54	442.77	1 111.04	680.70	2 623.05
55	3.19	1.19	1.94	2.67	8.98
56	0.33	0.27	0.21	0.40	1.21
57	0.78	0.38	0.65	1.13	2.93
58	0.22	0.24	0.08	0.06	0.60
59	0.10	0.13	0.05	0.05	0.33
60	0.94	1.07	0.48	0.29	2.77
61	1.90	1.22	1.98	2.35	7.45
62	2.86	4.21	2.48	3.11	12.65
63	233.22	228.32	548.78	1 130.67	2 141.00
64	3.55	4.94	4.51	5.49	18.49
65	5.73	5.71	11.16	19.15	41.75
66	3.22	2.82	6.09	8.45	20.58
67	0.68	0.91	0.89	1.91	4.39
68	92.55	87.42	215.49	435.24	830.69
69	0.83	0.58	0.91	0.69	3.01
70	481.89	192.41	437.88	554.07	1 666.25
71	65.54	28.76	52.54	76.73	223.58
72	52.19	23.39	46.33	104.84	226.75
73	111.45	114.93	160.56	256.50	643.43
74	62.46	33.00	77.75	157.54	330.76
75	9.19	8.43	10.61	20.98	49.21
76	19.23	7.97	18.50	38.86	84.55
77	11.54	8.48	11.10	21.17	52.29
78	6.62	3.29	8.20	15.16	33.27
79	0.05	0.02	0.06	0.08	0.21
80	44.01	19.08	42.80	87.23	193.12
81	12.23	8.37	13.76	28.94	63.31

Anexo F. SCRIPTS EMPLEADOS

Script 1. Extracción y descarga de imagen SRTM de la USGS con GEE con Java Script.

```
// Cargar el área de estudio (asegúrate de tener cargado el shapefile como "Area_estudio")
var area = ee.FeatureCollection("projects/ee-luwyguzmanunas/assets/Tesis/Area_estudio"); //
Reemplaza con tu ruta correcta
// Visualizar el área de estudio
Map.centerObject(area, 10);
Map.addLayer(area, {color: 'red'}, 'Área de estudio');
// Cargar el DEM SRTM (resolución 30 m aprox)
var dem = ee.Image("USGS/SRTMGL1_003");
// Recortar el DEM al área de estudio
var dem_clip = dem.clip(area);
Map.addLayer(dem_clip, {min: 0, max: 3000, palette: ['blue', 'green', 'yellow', 'brown']}, "DEM
Recortado");
// Exportar el DEM como GeoTIFF
Export.image.toDrive({
  image: dem_clip,
  description: 'DEM_30m_AreaEstudio',
  folder: 'GEE_Export', // Cambia según tu necesidad
  fileNamePrefix: 'DEM_30m',
  region: area.geometry(),
  scale: 30,
  crs: 'EPSG:4326',
  maxPixels: 1e13
});
```

Script 2. Descarga de información CHIRP usando código R mediante RStudio.

```
# Crea un vector con los nombres de los archivos de CHIRPS para todos los meses de todos los años
chirps_files <- character(0)
for (year in 2018:2021) {
  for (month in 1:12) {
    file_name <- paste0("chirps-v2.0.", year, ".", sprintf("%02d", month), ".tif.gz")
    url <- paste0("https://data.chc.ucsb.edu/products/CHIRPS-2.0/global_monthly/tifs/", file_name)
    chirps_files <- c(chirps_files, url)
  }
}
# Descarga los archivos de CHIRPS
for (file in chirps_files) {
  download.file(file, basename(file))
}
```

Script 3. Función para determinar el Factor R en Colab de Google.

```
##@title Factor R ArcMap
MFI_2021 = ee. Image("projects/ee-luwyguzmanunas/assets/MFI_2021")\
  .select('b1')\
  .clip(roi)
R_2018 = (MFI_2021.multiply(4.17)).subtract(152)
```

Script 4. Función para determinar el Factor K en Colab de Google.

```

#Factor K
sand = ee.Image("OpenLandMap/SOL/SOL_CLAY-WFRACTION_USDA-3A1A1A_M/v02").select('b0')
silt = ee.Image('users/aschwantes/SLTPPT_I').divide(100)
clay = ee.Image("OpenLandMap/SOL/SOL_SAND-WFRACTION_USDA-3A1A1A_M/v02").select('b0')
morg = ee.Image("OpenLandMap/SOL/SOL_ORGANIC-CARBON_USDA-6A1C_M/v02").select('b0').multiply(0.58)
sn1 = sand.expression('1 - b0 / 100', {'b0': sand})
orgcar = ee.Image("OpenLandMap/SOL/SOL_ORGANIC-CARBON_USDA-6A1C_M/v02").select('b0')
soil = ee.Image([sand, silt, clay, morg, sn1, orgcar]).rename(['sand', 'silt', 'clay', 'morg', 'sn1', 'orgcar'] )
factor_K = soil.expression(
  '(0.2 + 0.3 * exp(-0.0256 * SAND * (1 - (SILT / 100)))) * (1 - (0.25 * CLAY / (CLAY + exp(3.72 - 2.95 * CLAY)))) * (1 - (0.7 * SN1 / (SN1 + exp(-5.51 + 22.9 * SN1))))*((SILT / (CLAY + SILT))**0.3)*0.1317',
  {
    'SAND': soil.select('sand'),
    'SILT': soil.select('silt'),
    'CLAY': soil.select('clay'),
    'MORG': soil.select('morg'),
    'SN1': soil.select('sn1'),
    'CORG': soil.select('orgcar')
  })

```

Script 5. Función para determinar el Factor C en Colab de Google.

```

#Factor C
##Funcion NDVI
def landsat_maskcloud(image):
  qa = image.select('QA_PIXEL')
  my_mask = (1 << 4) + (1 << 3) + (1 << 9)
  mask = qa.bitwiseAnd(my_mask).eq(0)
  ndvi = image.normalizedDifference(['SR_B4', 'SR_B3']).rename('NDVI')
  return image.addBands(ndvi)\
    .select(['SR_B5','SR_B4','SR_B3','NDVI'])\
    .rename('SWIR','NIR','RED','NDVI')\
    .updateMask(mask)\
    .copyProperties(image, ["system:time_start"])

##Selección de Imagenes
Landsat = ee.ImageCollection("LANDSAT/LC08/C02/T1_L2")\
  .filterBounds(roi)\
  .filterDate(init_date, last_date)\
  .filterMetadata('CLOUD_COVER','less_than',cloud_per)\
  .filter(ee.Filter.calendarRange(calendar[0], calendar[1],'month'))\
  .map(apply_scale_factors_18)\
  .map(18_maskcloud)

factor_C2 = (ndvi_01.add(1)).multiply((ee.Image(1).subtract(ndvi_01)).divide(ee.Image(2)))

```

Script 6. Función para determinar los Factores topográficos LS en Colab de Google.

```

#Cálculo de los factores LS
dem = ee.Image('USGS/SRTMGL1_003')
facc = ee.Image('projects/ee-luwyguzmanunas/assets/flow_acu')
slope = ee.Terrain.slope(dem)
D = ee.Image(100)
#Factor F
beta = slope.multiply(0.01745)
seno_beta = beta.sin()
factor_F = (seno_beta.divide(0.0896)).divide((ee.Image(3).multiply(seno_beta).pow(0.8)).add(0.56))
#Factor m
factor_m = factor_F.divide(factor_F.add(1))
#Factor L
factor_L =
(((facc.add(D.pow(2))).pow(factor_m.add(1))).subtract(facc.pow(factor_m.add(1)))).divide((D.pow(factor_m.add(2))).multiply(ee.Image(22.13).pow(factor_m))))
#Factor S
def tangente_beta(beta):
  if beta.tan().lt(0.09):
    return (beta.sin().multiply(10.8)).add(0.03)
  else:
    return (beta.sin().multiply(16.8)).subtract(0.5)
factor_S = tangente_beta(beta)
#Factor LS
factor_LS = factor_L.multiply(factor_S)

```

Script 7. Función para determinar el factor A (Erosión Hídrica) en Colab de Google.

```

#Factor A (RUSLE)
factor_A = factor_LS.multiply(factor_K).multiply(factor_C2).multiply(R_2018)
factor_A = factor_LS.multiply(factor_K).multiply(factor_C2).multiply(R_2019)
factor_A = factor_LS.multiply(factor_K).multiply(factor_C2).multiply(R_2020)
factor_A = factor_LS.multiply(factor_K).multiply(factor_C2).multiply(R_2021)

```

Script 8. Código en R para analizar el Análisis de Conglomerados.

```

df <- read_excel("H:/Mi unidad/TESIS/2.- Desarrollo de la Investigación/2.4.- Base y Analisis de
Datos/Analisis Cluster y mas2.xlsx",
  sheet = "6")
df <- df[, !(names(df) %in% c("ID"))]# Eliminar columna ID si existe
df <- df %>% na.omit() # elimina filas con NA
df <- df %>% select(where(~ sd(x, na.rm = TRUE) > 0)) # elimina columnas sin variación
df_scaled <- scale(df, center = TRUE, scale = TRUE)
dist_matrix <- dist(t(df_scaled), method = "euclidean")
hc <- hclust(dist_matrix, method = "ward.D2")
dend <- as.dendrogram(hc)
PME <- c("DP", "E-I", "E-II", "E-III", "E-IV", "E-V", "BOS", "V IN", "AGR", "URB", "SD", "GLA",
  "PAS", "G-I", "G-II", "G-III")
PMECA <- c("ICARHS", "A&G", "NH3-N", "Cl-", "DBO5", "DQO", "SAAM", "PT", "NT", "OD", "pH",
  "SO42-", "S2-", "T", "As", "B", "Li", "Mg", "Mo", "K", "Si", "Na", "U", "CT", "EC")
labels_colors(dend) <- ifelse(labels(dend) %in% PME, "blue", "red")
dend <- color_branches(dend, k = 5) %>%
  set("labels_cex", 0.8)
hmax <- max(hc$height)
axis_vals <- pretty(c(0, hmax))
similarity_vals <- 100 - (axis_vals / hmax * 100)

```

Script 9. Código en R para realizar el Análisis de Discriminante.

```

## 0) Cargar paquetes
library(readxl) # lectura de Excel
library(openxlsx) # escritura de Excel con formato
library(dplyr) # manipulación de datos
library(MASS) # lda()

## 1) Parámetros de entrada/salida
// Ruta y archivo de datos (tu ubicación exacta)
in_xlsx <- "H:/Mi unidad/TESIS/2.- Desarrollo de la Investigación/2.4.- Base y Analisis de
Datos/DATA_PME_PMECA.xlsx"
// Series objetivo (hojas 7, 8 y 9)
sheets_target <- c("7", "8", "9")
// Archivo de salida (puedes cambiar la carpeta si prefieres)
out_xlsx <- "H:/Mi unidad/TESIS/2.- Desarrollo de la Investigación/2.4.- Base y Analisis de
Datos/Marginal_Wilks_Top5_S7_S8_S9.xlsx"

## 2) Listas de variables
PME <- c("DP","E-I","E-II","E-III","E-IV","E-V",
        "BOS","V IN","AGR","URB","SD","GLA",
        "PAS","G-I","G-II","G-III")
PMECA <- c("A&G","NH3-N","Cl-","DBO5","DQO","SAAM",
          "PT","NT","OD","pH","SO42-","S2-","T","As",
          "B","Li","Mg","Mo","K","Si","Na","U","CT","EC")

## 3) Funciones auxiliares
## 3.1)  $\lambda$  de Wilks marginal =  $|W|/|T|$  (con pequeño ridge para estabilidad)
wilks_lambda <- function(X, y, ridge=1e-6){
  X <- as.matrix(X); y <- as.vector(y)
  n <- nrow(X); p <- ncol(X)
  if (p == 0 || n < 3) return(NA_real_)
  mu <- colMeans(X)
  Xt <- sweep(X, 2, mu, "-")
  Tm <- t(Xt) %*% Xt
  W <- matrix(0, p, p)
  for (cl in unique(y)) {
    Xc <- X[y == cl, , drop=FALSE]
    if (nrow(Xc) <= 1) next
    muc <- colMeans(Xc)
    Xcw <- sweep(Xc, 2, muc, "-")
    W <- W + t(Xcw) %*% Xcw
  }
  Tr <- Tm + diag(ridge, p)
  Wr <- W + diag(ridge, p)
  ldT <- determinant(Tr, logarithm=TRUE)
  ldW <- determinant(Wr, logarithm=TRUE)
  if (ldT$sign <= 0 || ldW$sign <= 0) return(NA_real_)
  as.numeric(exp(ldW$modulus - ldT$modulus))
}

## 3.2) Aproximación de Rao (1951) para F y p-valor a partir de  $\lambda$ 
rao_f_from_lambda <- function(lambda, p, g, N){
  vh <- g - 1
  ve <- N - g
  if (!is.finite(lambda) || lambda <= 0 || lambda >= 1 ||
      p <= 0 || vh <= 0 || ve <= 0) return(c(F=NA, df1=NA, df2=NA, p=NA))
  den <- (p^2 + vh^2 - 5)
  t <- if (den <= 0) 1 else {
    num <- (p^2 * vh^2 - 4)
    if (num <= 0) 1 else sqrt(num / den)
  }
}

```

```

w <- ve + vh - (p + vh + 1) / 2
df1 <- p * vh
df2 <- w * t + 1 - (df1 / 2)
if (df1 <= 0 || df2 <= 0) return(c(F=NA, df1=NA, df2=NA, p=NA))
Lpow <- lambda^(1 / t)
Fval <- ((1 - Lpow) / Lpow) * (df2 / df1)
pval <- tryCatch(pf(Fval, df1, df2, lower.tail = FALSE), error=function(e) NA_real_)
c(F=as.numeric(Fval), df1=as.numeric(df1), df2=as.numeric(df2), p=as.numeric(pval))
}

## 3.3) Discretización en 5 cuantiles (quintiles) robusta a empates
q5_labels <- function(v){
  r <- rank(v, ties.method = "average")
  br <- quantile(r, probs = seq(0, 1, 0.2), na.rm = TRUE)
  br[1] <- floor(br[1]); br[length(br)] <- ceiling(br[length(br)])
  qs <- tryCatch(cut(r, breaks = unique(br), include.lowest = TRUE,
    labels = FALSE) - 1L, error = function(e) NULL)
  if (is.null(qs) || length(unique(qs)) < 2) return(NULL)
  as.integer(qs)
}

## 3.4) Accuracy (CV) de LDA univariado (k-fold estratificado; k ≤ tamaño mínimo de clase; máx 5)
lda_cv_acc <- function(X, y, kmax=5, seed=42){
  y <- as.integer(as.factor(y))
  tab <- table(y)
  k <- min(kmax, min(tab))
  if (k < 2) return(NA_real_)
  set.seed(seed)
  idx_by_cls <- split(seq_along(y), y)
  folds <- vector("list", k)
  pcs <- lapply(idx_by_cls, function(ids) split(sample(ids), rep(1:k, length.out=length(ids))))
  for (i in 1:k) folds[[i]] <- unlist(lapply(pcs, `[`, i, use.names = FALSE))
  acc <- c()
  for (i in 1:k) {
    te <- folds[[i]]; tr <- setdiff(seq_along(y), te)
    fit <- tryCatch(lda(X[tr, , drop=FALSE], grouping = y[tr]), error=function(e) NULL)
    if (is.null(fit)) next
    pr <- tryCatch(predict(fit, X[te, , drop=FALSE])$class, error=function(e) NULL)
    if (is.null(pr)) next
    acc <- c(acc, mean(pr == y[te]))
  }
  if (length(acc) == 0) NA_real_ else mean(acc)
}

```

Anexo G. PANEL FOTOGRÁFICO

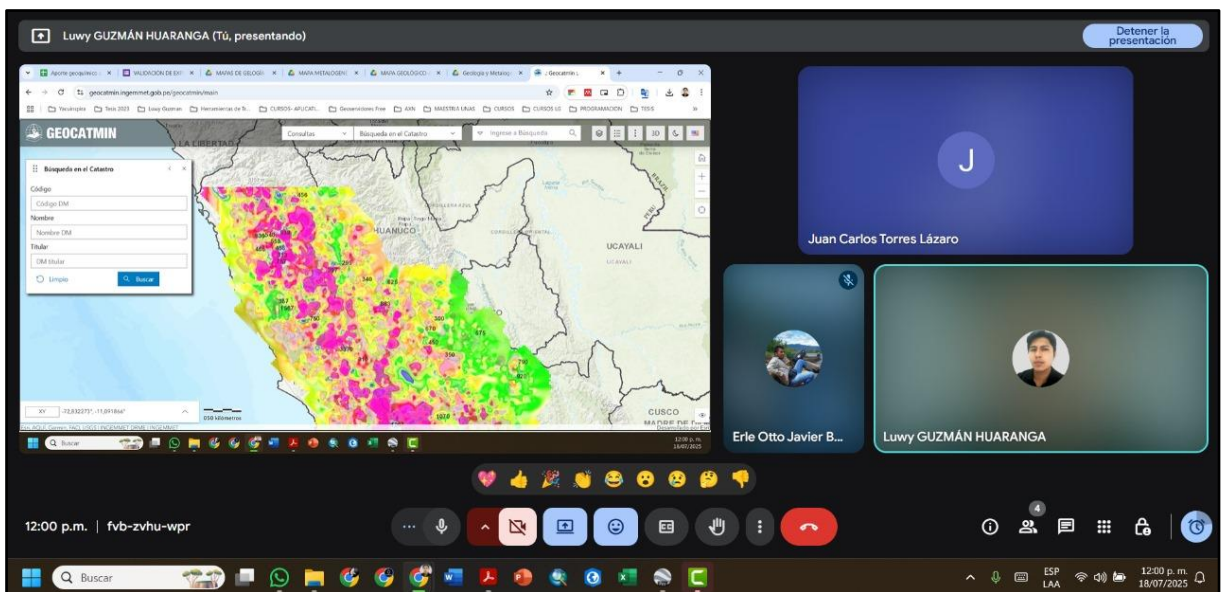


Figura 61. Reunión de coordinación con experto en geología (Ing. Juan Torres Lazaro).

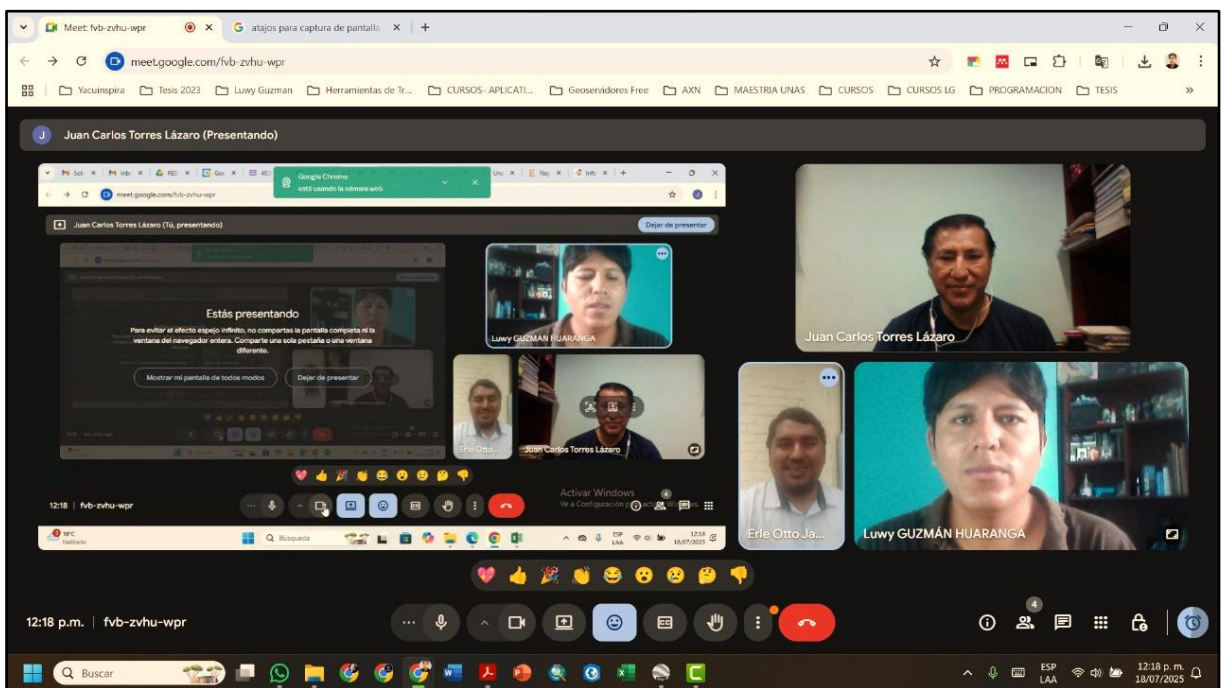


Figura 62. Reunión de coordinación asesor y experto en Geología