



INAIGEM

INSTITUTO NACIONAL DE
INVESTIGACIÓN EN GLACIARES Y
ECOSISTEMAS DE MONTAÑA

INFORME TÉCNICO

EVALUACIÓN DE CALIDAD Y CANTIDAD DE AGUA EN CUATRO SITIOS CON PROBLEMAS DE DRENAJE ÁCIDO DE ROCA EN LA CORDILLERA BLANCA, 2022



Dirección de Investigación en Ecosistemas de Montaña (DIEM)			
POI-AO AOI00163000313	Informe Técnico	Lugar y fecha de entrega:	Huaraz, enero de 2023
Revisado por:		Elaborado por:	
Pedro Tapia Ormeño, Subdirector de Investigación e Innovación en Ecosistemas de Montaña		Yeidy Montano Chávez Especialista en Asuntos Ambientales	

Contenido

I.	INTRODUCCIÓN	6
II.	OBJETIVOS.....	7
2.1.	Objetivo general	7
2.2.	Objetivos específicos.....	7
III.	UBICACIÓN DE LAS ZONAS DE ESTUDIO	8
3.1.	UH Pachacoto	8
3.2.	UH Pariac – Rajucolta	9
3.3.	Microcuenca del río Pucavado	9
3.4.	Subcuenca río Negro.....	10
IV.	METODOLOGÍA	11
4.1.	Trabajo de campo	11
4.2.	Análisis de laboratorio y resultados	13
V.	RESULTADO Y DISCUSIÓN	17
5.1.	UH Pachacoto	17
5.2.	UH Pariac-Rajucolta.....	23
5.3.	Microcuenca río Pucavado	27
5.4.	Subcuenca del río Negro.....	32
5.5.	Caudal en las zonas de estudio.....	37
5.6.	Relación del caudal con los parámetros evaluados	39
5.7.	Mapas de resultados	50
VI.	CONCLUSIONES	54
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56
VIII.	ANEXOS	57
8.1.	Perfil de caudal en las cuatro zonas de estudio.....	57
8.1.1.	UH Pachacoto	57
8.1.2.	UH Pariac - Rajucolta	62
8.1.3.	Microcuenca del río Pucavado.....	66
8.1.4.	Subcuenca del río Negro	70

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

Tablas

Tabla 1. Resultados de los parámetros fisicoquímicos y químicos de la UH Pachacoto durante el año 2022.	20
Tabla 2. Resultados de los parámetros fisicoquímicos y químicos de la UH Pariac - Rajucolta durante el año 2022.	24
Tabla 3. Resultados de los parámetros fisicoquímicos y químicos de la microcuenca del río Pucavado durante el año 2022.	29
Tabla 4. Resultados de los parámetros fisicoquímicos y químicos de la subcuenca río Negro durante el 2022.	34
Tabla 5. Mediciones de caudal durante la temporada húmeda y seca en las cuatro zonas de estudio en el año 2022.	37

Figuras

Figura 1. Mapa de ubicación de la U.H Pachacoto	8
Figura 2. Mapa de ubicación de la UH Pariac-Rajucolta	9
Figura 3. Mapa de ubicación de la microcuenca del río Pucavado.....	10
Figura 4. Mapa de ubicación de la subcuenca del Río Negro.	11
Figura 5. Mediciones y toma de muestras en el campo.	12
Figura 6. Medición de caudal.	13
Figura 7. Mapa de puntos de monitoreo en la UH Pariac- Rajucolta.....	15
Figura 8. Mapa de puntos de monitoreo de la UH Pachacoto.	15
Figura 9. Mapa de puntos de evaluación en la subcuenca río Negro.....	16
Figura 10. Mapa de puntos de monitoreo en la microcuenca del río Pucavado.....	16
Figura 11. Comportamiento del pH durante el 2022 vs caudal.....	39
Figura 12. Comportamiento del Mn durante el 2022 vs caudal.	40
Figura 13. Comportamiento del Zn durante el 2022 vs caudal.	41
Figura 14. Comportamiento del pH durante el 2022 vs caudal.....	42
Figura 15. Comportamiento del pH durante el 2022 vs caudal.....	43
Figura 16. Comportamiento del Mn durante el 2022 vs caudal	44
Figura 17. Comportamiento del Pb durante el 2022 vs caudal.	45
Figura 18 . Comportamiento del Zn durante el 2022 vs caudal.	46
Figura 19. Comportamiento del pH durante el 2022 vs caudal.....	47
Figura 20. Comportamiento del Fe durante el 2022 vs caudal.	48
Figura 21. Comportamiento del Mn durante el 2022 vs caudal.	49
Figura 22. Mapa tipo semáforo de resultados comparados con el ECA para el agua (Cat. 4) de la UH Pachacoto.....	50
Figura 23. Mapa tipo semáforo de resultados comparados con el ECA para el agua (Cat. 4) de la UH Pariac-Rajucolta.....	51
Figura 24. Mapa tipo semáforo de resultados comparados con el ECA para el agua (Cat.4) de la microcuenca del río Pucavado	52
Figura 25. Mapa tipo semáforo de resultados comparados con el ECA para el agua (Cat.4) de la subcuenca río Negro.	53
Figura 26. Perfil del punto PACH-AG-01, con un margen de inicio derecho.....	57
Figura 27. Perfil del punto PACH-AG-02, con un margen de inicio derecho.....	58
Figura 28. Perfil del punto PACH-AG-03, con un margen de inicio izquierdo.	58
Figura 29. Perfil del punto PACH-AG-04, con un margen de inicio derecho.....	59
Figura 30. Perfil del punto PACH-AG-05, con un margen de inicio derecho.....	59
Figura 31. Perfil del punto PACH-AG-06, con un margen de inicio derecho.....	60
Figura 32. Perfil del punto PACH-AG-07, con un margen de inicio derecho.....	60

Figura 33. Perfil del punto PACH-AG-08, con un margen de inicio derecho.....	61
Figura 34. Perfil del punto PACH-AG-09, con un margen de inicio derecho.....	61
Figura 35. Perfil del punto RJC-AG-01, con un margen de inicio izquierdo.....	62
Figura 36. Perfil del punto RJC-AG-02, con un margen de inicio izquierdo.....	62
Figura 37. Perfil del punto RJC-AG-03, con un margen de inicio derecho.....	63
Figura 38. Perfil del punto RJC-AG-04, con un margen de inicio izquierdo.....	63
Figura 39. Perfil del punto RJC-AG-05, con un margen de inicio derecho.....	64
Figura 40. Perfil del punto RJC-AG-06, con un margen de inicio derecho.....	64
Figura 41. Perfil del punto RJC-AG-08, con un margen de inicio derecho.....	65
Figura 42. Perfil del punto RJC-AG-10, con un margen de inicio derecho.....	65
Figura 43. Perfil del punto PUC-AG-01, con un margen de inicio izquierdo.	66
Figura 44. Perfil del punto PUC-AG-02, con un margen de inicio izquierdo.	66
Figura 45. Perfil del punto PUC-AG-03, con un margen de inicio izquierdo..	67
Figura 46. Perfil del punto PUC-AG-04, con un margen de inicio izquierdo.	67
Figura 47. Perfil del punto PUC-AG-05, con un margen de inicio derecho.....	68
Figura 48. Perfil del punto PUC-AG-06, con un margen de inicio derecho.....	68
Figura 49. Perfil del punto PUC-AG-08, con un margen de inicio derecho.....	69
Figura 50. Perfil del punto PUC-AG-09, con un margen de inicio derecho.....	69
Figura 51. Perfil del punto NEG-AG-01, con un margen de inicio izquierdo..	70
Figura 52. Perfil del punto NEG-AG-02, con un margen de inicio izquierdo..	70
Figura 53. Perfil del punto NEG-AG-03, con un margen de inicio izquierdo.	71
Figura 54. Perfil del punto NEG-AG-04, con un margen de inicio izquierdo.	71
Figura 55. Perfil del punto NEG-AG-05, con un margen de inicio derecho.....	72
Figura 56. Perfil del punto NEG-AG-06, con un margen de inicio izquierdo.	72
Figura 57. Perfil del punto NEG-AG-07, con un margen de inicio izquierdo.	73
Figura 58. Perfil del punto NEG-AG-07, con un margen de inicio derecho.....	73

I. INTRODUCCIÓN

Desde el año 2016 al 2019 se ha realizado estudios de la calidad de agua en la cordillera Blanca, llegando a evaluar 72 puntos en 7 unidades hidrográficas (UH) altoandinas. Estas evaluaciones han permitido identificar sitios que presentan altas concentraciones de metales y aguas ácidas, a causa de la generación de drenaje ácido de roca (DAR). Desde el año 2020 se ha priorizado los trabajos en zonas donde conocemos que tienen problemas en la calidad de agua, en las cuales se ha registrado aguas con pH muy bajos y altas concentraciones de metales, además de priorizar sitios donde se tiene poca información y en las cuales la Dirección de Investigación en Ecosistemas de Montaña (DIEM) del Instituto Nacional de Investigaciones en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (Inaigem), viene desarrollando estudios de investigación.

Para el presente año (2022) se evaluó la temporada húmeda y seca en cuatro sitios de estudio dentro de la cordillera Blanca (UH Pachacoto, UH Pariac-Rajucolta, microcuenca del río Pucavado y la subcuenca de río Negro), en todas estas zonas de estudio se han identificado previamente impactos probablemente a causa del DAR, debido a que no se registra ninguna actividad minera en ellas, además que sólo algunas UH tienen análisis muy esporádicos con una serie de tiempo corta.

Los trabajos desarrollados como la medición de parámetros ambientales, toma de muestras de agua, se realizaron en temporada húmeda y seca. Para el año 2022, a la evaluación de la calidad de agua que se venía realizando en años anteriores (análisis fisicoquímicos y metales totales) se ha incorporado el análisis de aniones y nutrientes (sulfuro, nitrato y fosfato), y también se realizó la medición de caudal en los puntos de monitoreo de agua, para de esta manera conocer si existe relación con la concentración de metales.

Estas evaluaciones se realizan con la finalidad de identificar sitios con presencia de drenaje ácido de roca (DAR), que es un evento natural y de dinámica compleja (Jacobs et al, 2014). Este proceso implica el escurrimiento de soluciones ácidas, con presencia de diferentes metales pesados, producto de la meteorización y reacciones bioquímicas en presencia de agua y oxígeno (Egiebor & Oni, 2007), por lo que se produce una movilización de metales (aluminio, hierro, cromo, cadmio, manganeso, arsénico, etc.) hacia los cuerpos de agua inmediatos (Loayza-Muro et al., 2014). Los contaminantes como metales pesados son especialmente preocupantes en los ecosistemas acuáticos debido a su toxicidad y capacidad de bioacumulación (Rose et al., 1999). Estos deterioran la calidad de vida del agua, causan daños tanto a la flora como a la fauna (Abdel-Meguid et al., 2002).

En ese sentido, siendo de importancia la evaluación de la calidad del agua, en el presente informe se presentan los resultados de los parámetros medidos en campo: pH, oxígeno disuelto (OD), conductividad eléctrica (CE), turbidez y los resultados de los análisis de 11 metales evaluados que son aluminio (Al), arsénico (As), boro (B), cadmio (Cd), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), plomo (Pb), zinc (Zn), cromo (Cr) y mercurio (Hg), también para la presente evaluación se incorporaron 3 nuevos parámetros de fosfato (PO_3^-), sulfuro (S_2^-) y nitrato (NO_3^-). Estos resultados han sido comparados con el ECA para agua (Cat. 4), además se ha tomado como valor referencial la Categoría 3-D1 “Riego de vegetales”, para el caso de algunos parámetros donde en la categoría 4, no se reporta un valor, en conformidad del D.S.004-2017-MINAM¹.

Para el análisis del fosfato, dado que no se cuenta con una normativa peruana, se optó por utilizar una normativa de Bolivia, según el D.S. N°24.176². Reglamentación de la Ley del Medio Ambiente. Reglamento en materia de contaminación hídrica, establecida en la Clase “A”. Aguas naturales de máxima calidad, que las habilita como agua potable para consumo humano sin ningún tratamiento previo, o con simple desinfección bacteriológica en los casos necesarios verificados por laboratorio. Así mismo, se analizó la relación del caudal con los parámetros evaluados en temporada húmeda y seca, todos estos datos se analizaron con el fin de evaluar la calidad y cantidad del agua en los cuatro sitios de estudio.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

- Evaluar la calidad y cantidad del agua en época húmeda y seca en cuatro sitios de estudio (Pachacoto, Pariac-Rajucolta, Pucavado y río Negro) con aparentes problemas de drenaje ácido de roca, en la cordillera Blanca, Ancash-Perú, durante el 2022.

2.2. Objetivos específicos

- Comparar y establecer si los parámetros obtenidos en los análisis del agua cumplen con los Estándares de Calidad Ambiental del Agua, según el DS N° 004-2017-MINAM y para el fosfato según el D.S. N° 24.176 del Reglamento en materia de contaminación hídrica de Bolivia.

¹ <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>

² <https://www.lexivox.org/norms/BO-RE-DS24176D.html> - <https://pdfslide.net/documents/anexo-a-reglamento-en-materia-de-contaminacion-hidrica.html?page=1>

Figura 1. Mapa de ubicación de la UH Pachacoto

Se ubica en el distrito de Chavín de Huántar en la provincia de Huari, departamento de Áncash, en la parte central occidental del Perú. Se localiza en la cuenca del Puchka, que es uno de los principales tributarios del río Marañón y cuando éste se une al río Ucayali forma el río Amazonas, perteneciente a la vertiente hidrográfica del Atlántico, que drena sus aguas por la margen izquierda del río Puchka (Fig. 3).

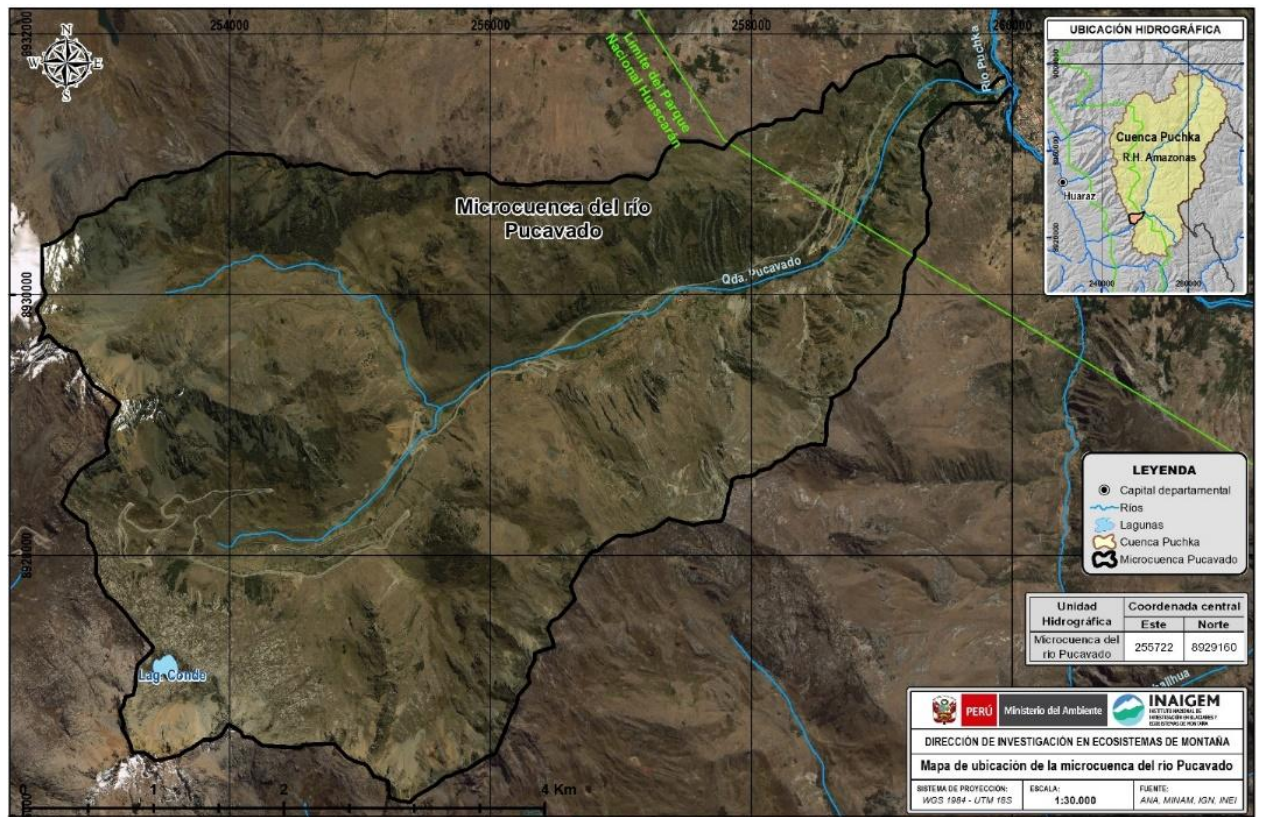


Figura 3. Mapa de ubicación de la microcuenca del río Pucavado.

3.4. Subcuenca río Negro

Se ubica en el distrito de Olleros, provincia de Huaraz, departamento de Áncash, Perú. Se localiza en la cuenca del río Santa, perteneciente a la vertiente hidrográfica del Pacífico, que drena sus aguas por la margen derecha del río Santa. Está formada por la unión de la quebrada Uquián y la quebrada Rurec. Tiene sus orígenes en los nevados de Huanchan a una altitud de 5,556 m s.n.m. y el nevado Verdecocha a una altitud de 5,640 m s.n.m. El río Negro sigue una dirección de Este – Oeste. y cubre una distancia de 48.0 km (Fig. 4).

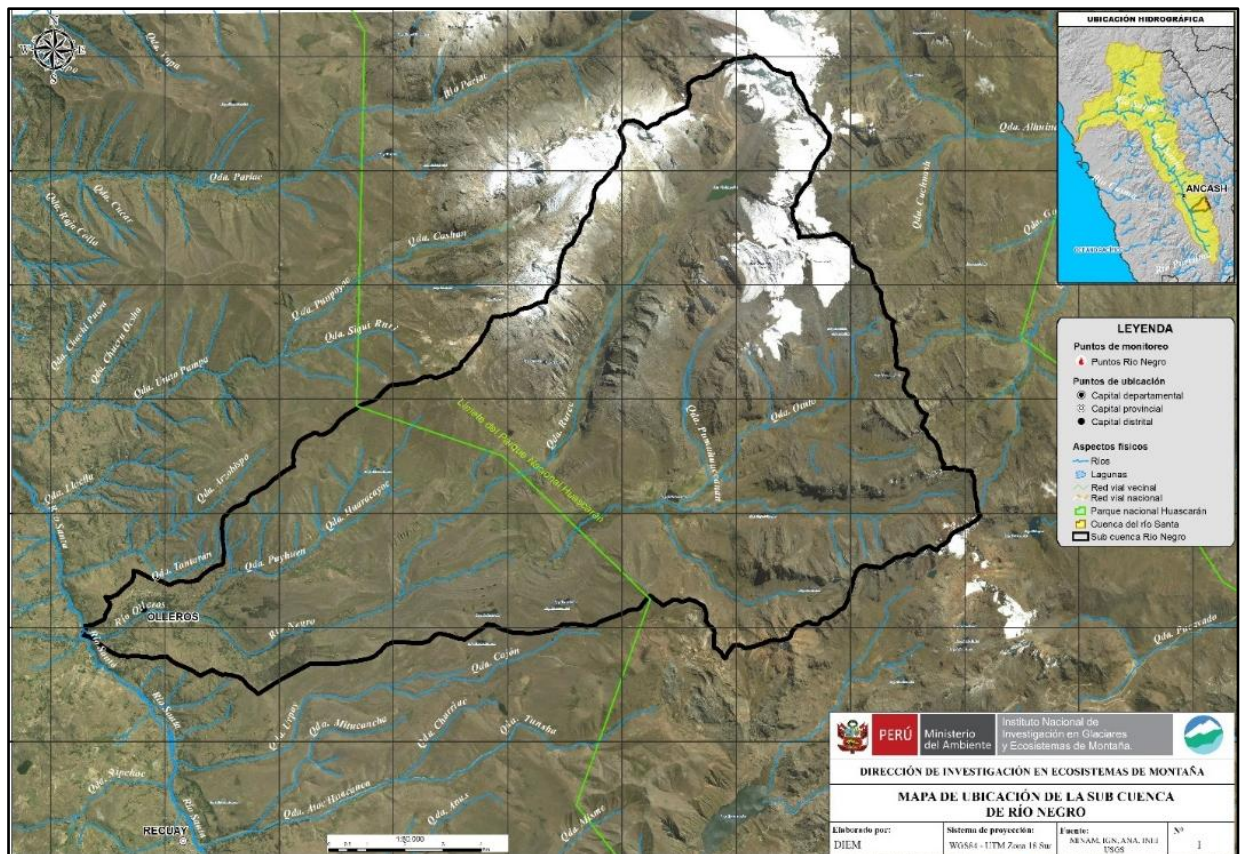


Figura 4. Mapa de ubicación de la subcuenca del río Negro.

IV. METODOLOGÍA

4.1. Trabajo de campo

Las evaluaciones en campo se realizaron en temporada húmeda y temporada seca, correspondiente al año 2022. Los trabajos realizados en campo fueron:

- Para la evaluación en época húmeda y seca, se registró en cada estación los parámetros fisicoquímicos medidos en campo como el potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (CE), oxígeno disuelto (OD), temperatura y turbidez, para lo cual se utilizaron equipos de campo especializados (multiparámetro y turbidímetro), calibrados al comienzo de cada salida de campo, utilizando sus respectivas soluciones estándar.
- Para la toma de muestras de agua se rotularon los frascos para la toma de las muestras, la cual contenía una etiqueta donde se indicó la información de hora, fecha, responsable, nombre de la zona de estudio y código del punto de muestreo.
- Se recogió en total 74 muestras de los cuatro sitios de estudio. De las cuales fueron 36 muestras en época húmeda y 38 muestras en época seca; se

recolectó dos muestras menos en época húmeda, porque no se tuvo acceso a dos puntos de evaluación en la subcuenca río Negro. Las muestras recogidas fueron enviadas al laboratorio acreditado SGS del Perú S.A.C., para el análisis de metales totales, aniones (nitrato, fosfato y sulfuro).

- Para el muestreo de agua se usó por punto 3 frascos de plástico con cierre hermético, limpios y con la capacidad requerida para los análisis (metales y aniones). La metodología consistió en enjuagar tres veces el frasco y sumergirlos por debajo de la superficie del agua en contra corriente llenando la botella hasta el cuello.
- Seguidamente las muestras de agua, fueron preservadas según el tipo de análisis y las indicaciones del laboratorio. El mismo día de colecta las muestras fueron enviadas al laboratorio para su análisis.



Figura 5. Mediciones y toma de muestras en el campo.

Para la evaluación de la cantidad del agua, se procedió con el aforo (medir el caudal) en cada punto de evaluación, con un correntómetro electromagnético, marca: OTT MF PRO. Donde se realizó el siguiente procedimiento:

- Ubicación del punto de aforo: dentro del punto de monitoreo de calidad de agua, se ubicó la parte del río y/o quebrada más homogénea, sin obstáculos o protuberancias por delante.

- Medición: se realizó las mediciones del ancho del río y/o quebrada, este valor se introduce al equipo. Se configuró las unidades para que se realice la medición del caudal en l/s. Se procedió a medir según el manual del correntómetro. Las luces de la parte superior derecha deben estar de color verde y azul para una adecuada medición.
- Guardar: una vez realizada las medidas se guardó con el nombre del punto de monitoreo.
- Finalmente se configuró el correntómetro en modo USB para la descarga de los datos.



Figura 6. Medición de caudal.

4.2. Análisis de laboratorio y resultados

Las muestras de agua colectadas en cada punto de evaluación, fueron analizadas por espectrometría de masas por plasma acoplado inductivamente (ICP-MS), según el método de análisis EPA Method 200.7, Rev. 4.4. EMMC Version. Determination of trace Elemts in Water and Wates by Inductively Coupled Plasma- Atomic Emission Spectrometry. 1994. El análisis de los resultados de los parámetros químicos y fisicoquímicos del agua se realizó mediante la comparación con los

Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para agua Categoría 4 «Conservación del ambiente acuático» (D.S N° 004-2017-MINAM), el cual se utiliza para cuerpos naturales de agua superficiales que forman parte de ecosistemas frágiles y que se encuentran en áreas naturales protegidas (ANP).

Los puntos evaluados en las 3 zonas de estudio (Pachacoto, Pariac-Rajucolta y Pucavado) se encuentran dentro del Parque Nacional Huascarán (PNH). Para el caso de la subcuenca río Negro, de los 9 puntos de evaluación, 7 se encuentran fuera del PNH, es por ello que se utilizó la Categoría 3-D1, «Riego de vegetales». Solo para el caso del fósforo incorporado este año se utilizó el D.S. N° 24.176. Reglamentación de la Ley del Medio Ambiente. Reglamento en materia de contaminación hídrica, establecida en la Clase “A”. Aguas naturales de máxima calidad, que las habilita como agua potable para consumo humano sin ningún tratamiento previo, o con simple desinfección bacteriológica en los casos necesarios verificados por laboratorio, tomado de Bolivia.

De los resultados obtenidos se priorizaron 11 metales: aluminio, arsénico, boro, cadmio, cobre, hierro, manganeso, plomo, zinc, cromo y mercurio, los cuales son tóxicos, por lo que es necesario conocer si aquellos superan los niveles establecidos en los ECA para agua, así mismo de los datos en campo se priorizó el pH, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica y turbiedad. También se analizó los resultados obtenidos del sulfuro, nitrato y fósforo.

Las figuras del 7 al 10, se presentan los mapas con la ubicación de los puntos de muestreo, donde se muestra los puntos evaluados en el río principal y sus afluentes.

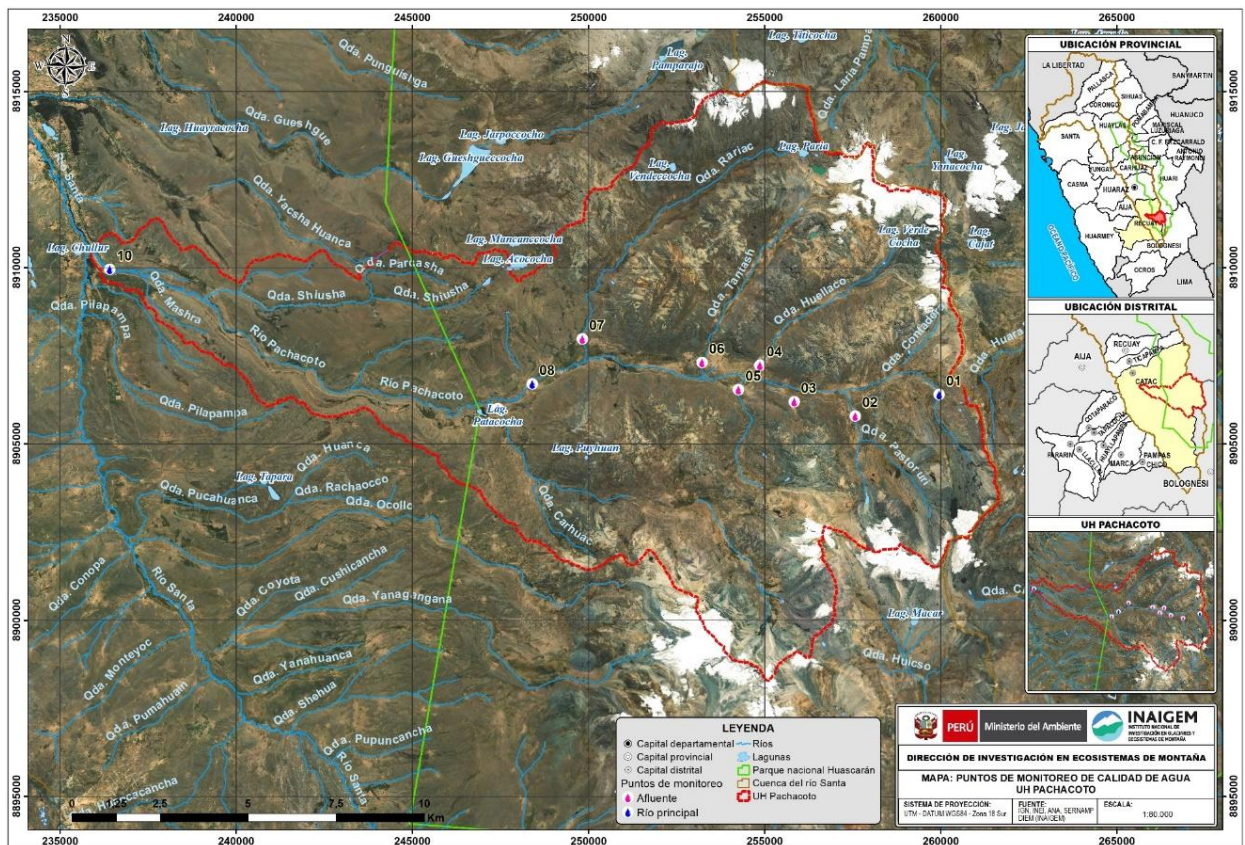


Figura 8. Mapa de puntos de monitoreo de la UH Pachacoto.

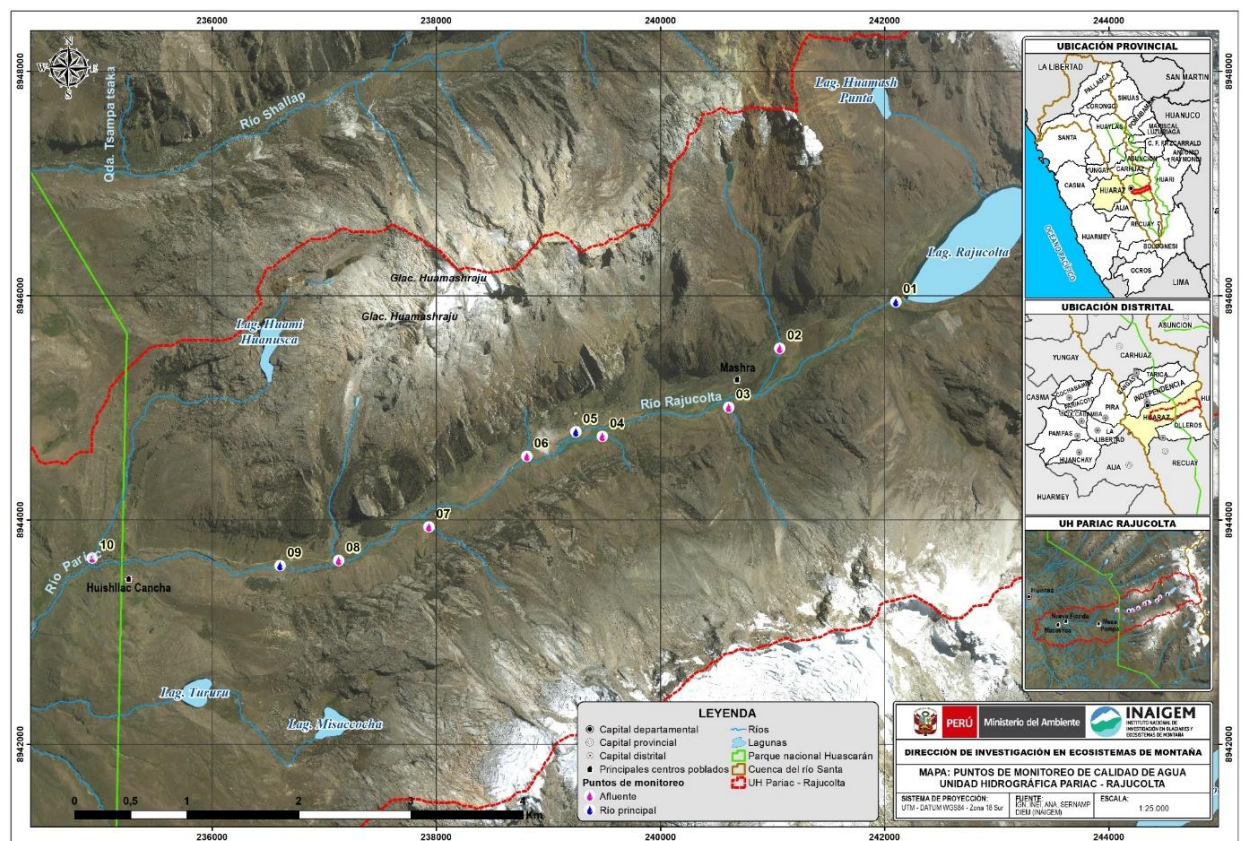


Figura 7. Mapa de puntos de monitoreo en la UH Pariac- Rajucolta.

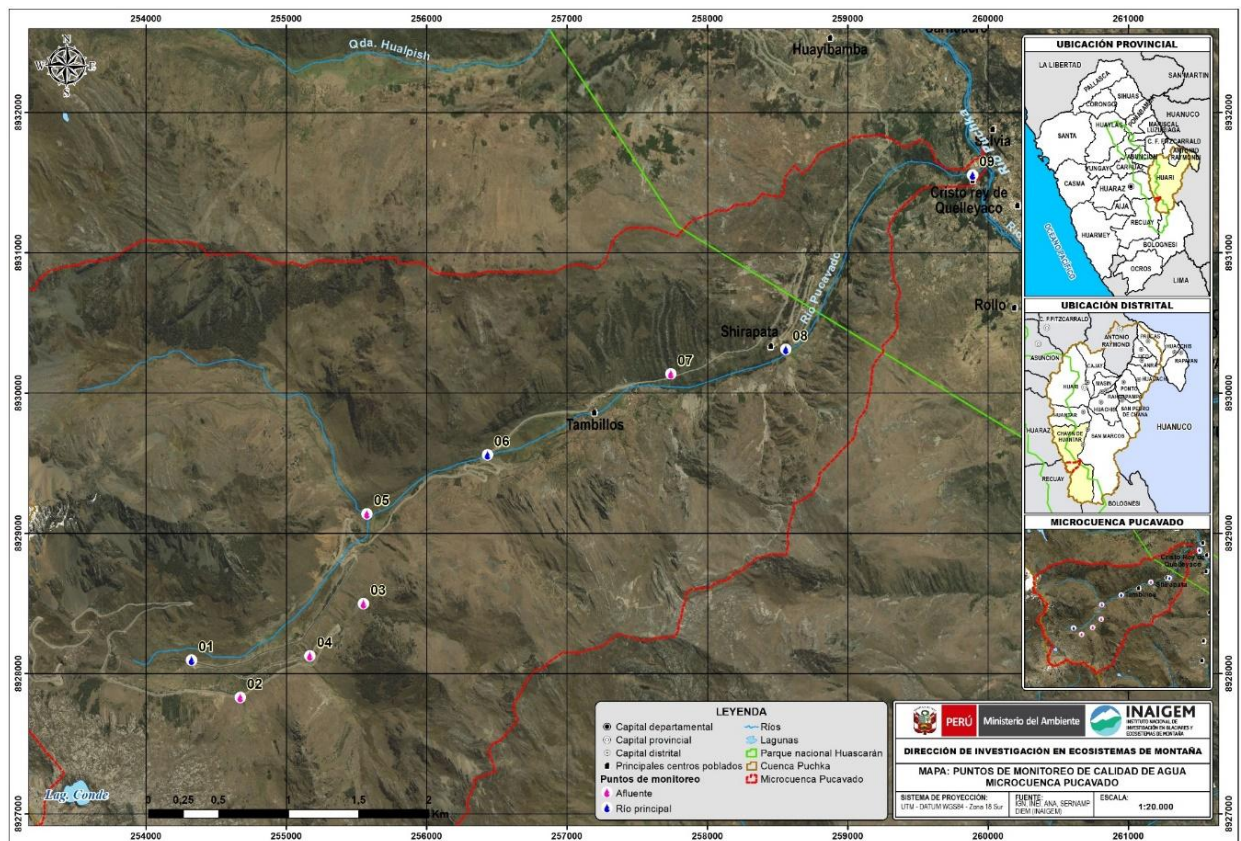


Figura 10. Mapa de puntos de monitoreo en la microcuenca del río Pucavado.

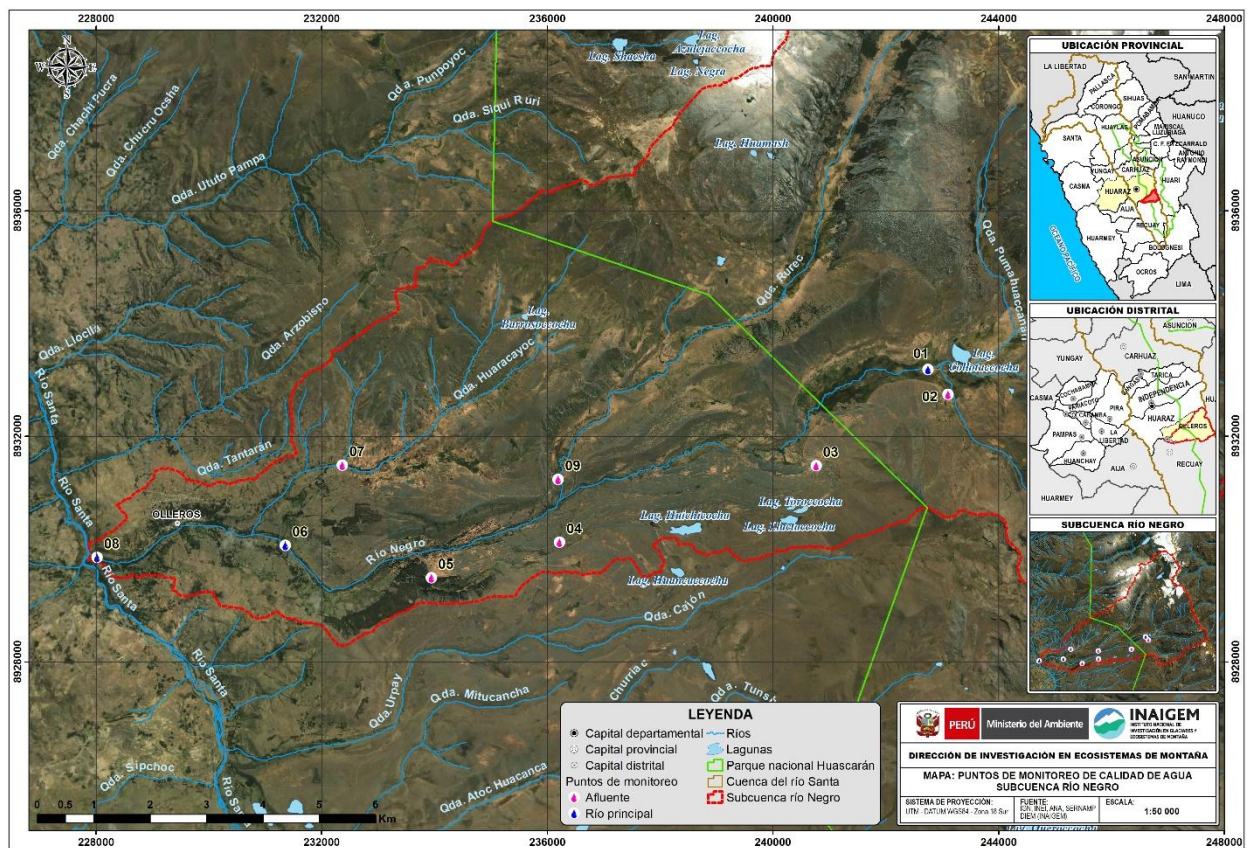


Figura 9. Mapa de puntos de evaluación en la subcuenca río Negro.

V. RESULTADO Y DISCUSIÓN

5.1. UH Pachacoto

Los resultados de los análisis fisicoquímicos y químicos del agua de la UH Pachacoto que a continuación se presentan, están ordenados por parámetro (columna) analizado en cada punto (fila) evaluado. Se tienen puntos de evaluación en el río principal y en los afluentes al río principal.

La tabla 1, presenta los resultados obtenidos de los diez puntos de evaluación de la UH Pachacoto correspondiente al año 2022 (temporada húmeda y seca), con los resultados de pH, oxígeno disuelto (OD), conductividad eléctrica (CE), turbidez, además de los parámetros incorporados para el año 2022 que son el sulfuro, fosfato y nitrato y 11 metales analizados en laboratorio: aluminio (Al), arsénico (As), boro (B), cadmio (Cd), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), plomo (Pb), zinc (Zn), cromo (Cr) y mercurio (Hg). Estos resultados han sido comparados con el ECA - Agua (Cat. 4), sin embargo, se ha tomado como valor referencial la Categoría 3-D1 “Riego de vegetales” para el caso de algunos parámetros donde en la categoría 4, no se reporta un valor, como es el caso para el aluminio, cadmio, hierro, manganeso, boro y cromo. Además, se utilizó el D.S. N° 24.176 – Clase “A” para el fosfato.

Encontramos valores de pH muy bajos en temporada húmeda y seca, en los puntos 01 y 07, registrándose el valor más bajo en el punto 01 con un pH de 3.37 en temporada húmeda y 3.44 temporada seca, estos valores se encuentran fuera del rango establecido en el ECA para agua, categoría 4 (6.5 – 9.0), mientras que bajas concentraciones de oxígeno disuelto (<5 mg/L), se registró en el punto 1 en la temporada húmeda con una concentración de 4.01 mg/L. De otro lado, en la temporada seca también se registraron valores por debajo de la normativa en los puntos 03, 08 y 09, de los cuales el punto 08 presentó el valor más bajo con una concentración de 3,91 mg/L.

En cuanto al aluminio, no se registró ningún valor que supere el ECA, pero se observó que el punto 01 tanto en la temporada húmeda como en la temporada seca posee valores próximos a lo establecido por el ECA, registrándose concentraciones de 4.523 y 4.821 mg/L respectivamente. Para el cadmio, encontramos que en temporada húmeda y seca el punto 03 presenta una concentración de 0.01282 y 0.02161 mg/L respectivamente, superando en 1.3 y 2.2 veces aproximadamente el valor referencial establecido (Cd = 0,01 mg/L) en el ECA para agua (Cat. 3 - D1).

En cuanto al hierro, encontramos que en temporada húmeda y seca el punto 07 presenta alta concentración de este metal, registrando en temporada húmeda una concentración de 8.5777 mg/L, superando en 1.7 veces el valor referencial establecido (5 mg/L) en el ECA - Agua (Cat. 3 – D1), de igual forma en la temporada seca se registró una alta concentración de 18.5792 mg/L, superando en 3.7 veces aproximadamente el valor referencial establecido en la normativa. Para el caso del manganeso, se registró que en temporada húmeda los puntos 01, 02, 03, 07, 08 y 10 superan la normativa establecida, registrándose la concentración más alta en el punto 01, mientras que en la temporada seca los puntos 01, 02, 03, 07 y 08 superan la normativa establecida, registrando la concentración más alta en el punto 03 que supera en 13.4 veces aproximadamente el valor referencial establecido (0.2 mg/L) en el ECA para agua (Cat. 3 – D1).

Para el caso del plomo se encontró que en la temporada húmeda el punto 03 supera el valor establecido (0.0025 mg/L) en el ECA para el agua (Cat. 4), con una concentración de 0.0029 mg/L. Para el caso del zinc encontramos que en temporada húmeda los puntos 03 y 07 superan el ECA para agua (Cat. 4) y en la temporada seca encontramos que los puntos 01, 03 y 07 superan la normativa, registrándose en temporada seca en el punto 3, la concentración más alta 5.1204 mg/L, superando en 42.7 veces aproximadamente el valor establecido (0.12 mg/L) en la normativa.

Los resultados de los parámetros de sulfuro, fosfato y nitrato, incorporados en la evaluación del 2022, registran concentraciones por debajo de lo establecido para el ECA para el agua (Cat. 4) y para el caso del fosfato para el D.S. N° 24.176 – Clase “A” para aguas naturales de máxima calidad.

Además, con estos resultados obtenidos, observamos que solo los puntos afluentes 04, 05 y 06 para todos los parámetros evaluados se encuentran dentro del ECA para agua (Cat. 4), esto quiere decir que cumplen con esta categoría que es para aguas de conservación del ambiente acuático.

El punto 01 evaluado, es el que se encuentra cercano al nevado Pastoruri siendo este nevado el que ha sufrido consecuencias drásticas del cambio climático. Para la evaluación realizada en el año 2022, se registra la mayor cantidad de parámetros que están fuera de la normativa junto con los puntos 03 y 07. En la presente evaluación se ha registrado concentraciones altas de aluminio, manganeso, cadmio, hierro, zinc y pH muy bajos, esto se debe a un proceso de generación de DAR, que se evidencia alrededor del nevado Pastoruri. Estudios hidroquímicos y

mineralógicos previos alrededor del nevado Pastoruri reportaron que se está produciendo un proceso de DAR afectando a fuentes de agua cercanas a este nevado, como resultado de la disolución oxidativa de lutitas y areniscas ricas en piritas, también en sus evaluaciones encontraron aguas muy ácidas y altas concentraciones de hierro, aluminio, magnesio, manganeso, zinc, cobalto y níquel (Santofimia et al., 2017).

Tabla 1. Resultados de los parámetros fisicoquímicos y químicos de la UH Pachacoto durante el año 2022.

Zona de estudio		Puntos de monitoreo	pH (Und. pH)		OD (mg/l)		CE (uS/cm)		Turb. (NTU)	
			Temporada húmeda	Temporada Seca	Temporada húmeda	Temporada Seca	Temporada húmeda	Temporada Seca	Temporada húmeda	Temporada Seca
UH Pachacoto	Río Principal	PACH- 01	3.37	3.44	4.01	7.14	353	202	1.75	0.55
		PACH- 08	6.96	7.04	7.11	3.91	281	196	9.86	12.4
		PACH- 10	7.9	7.94	7.3	5.93	247	189	14.3	7.68
	Afluentes	PACH- 02	7.52	7.52	5.21	7.1	189	131	14.1	17.8
		PACH- 03	7.34	7.08	6.8	4.78	509	653	2.38	0.61
		PACH- 04	8.51	8.44	6.93	6.96	259	157	6.84	3.69
		PACH- 05	8.19	8.21	7.58	7.02	298	283	3.15	1.31
		PACH- 06	8.18	8.46	7.12	5.42	183	144	4.21	3.71
		PACH- 07	4.58	4.38	7.02	5.68	283	264	7.37	18.3
		PACH- 09	7.67	7.43	7.09	4.74	158	140	7.64	4.05
ECA-Agua (Cat. 4)			6,5 - 9,0		≥ 5		1000		-----	

Valor que supera el Estándar de Calidad Ambiental para agua (Categoría 4).

Continuación de la Tabla 1

Zona de estudio		Puntos de monitoreo	Al(mg/L)		As (mg/L)		Cd (mg/l)	
			Temporada húmeda	Temporada Seca	Temporada húmeda	Temporada Seca	Temporada húmeda	Temporada Seca
UH Pachacoto	Río Principal	PACH- 01	4.523	4.821	0.00527	0.000829	0.00037	0.00035
		PACH- 08	1.086	1.279	0.00135	0.00116	0.00019	0.0001
		PACH- 10	0.768	0.61	0.00171	0.00038	0.00012	0.00004
	Afluentes	PACH- 02	0.308	0.704	0.00844	0.00632	0.00019	0.00011
		PACH- 03	0.281	0.012	0.03921	0.0001	0.01282	0.02161
		PACH- 04	0.146	0.126	0.00692	0.0001	0.00003	0.00003
		PACH- 05	0.077	0.016	0.00089	0.0001	0.00003	0.00003
		PACH- 06	0.129	0.07	0.00126	0.0001	0.00003	0.00007
		PACH- 07	3.084	4.513	0.00119	0.0001	0.00046	0.00032
		PACH- 09	0.242	0.132	0.00532	0.00287	0.00011	0.00003
ECA-Agua (Cat. 4)		5*		0.15		0.01*		

* Se tomaron los valores del ECA-Agua (Cat. 3-D1)

Valor que supera el Estándar de Calidad Ambiental para agua (Categoría 4).

Continuación de la Tabla 1

Zona de estudio		Puntos de monitoreo	Cu (mg/L)		Fe(mg/L)		Mn(mg/L)	
			Temporada húmeda	Temporada seca	Temporada húmeda	Temporada seca	Temporada húmeda	Temporada seca
UH Pachacoto	Río principal	PACH- 01	0.00205	0.00223	2.1802	1.2073	1.37813	1.67065
		PACH- 08	0.00043	0.00061	2.856	4.437	0.41542	0.39515
		PACH- 10	0.00153	0.00146	1.7367	1.5659	0.24767	0.18096
	Afluentes	PACH- 02	0.00041	0.00141	0.7822	1.0155	0.31235	0.27534
		PACH- 03	0.00009	0.0007	2.0691	0.1807	0.6653	2.67153
		PACH- 04	0.00009	0.00009	0.1637	0.1365	0.00986	0.00688
		PACH- 05	0.00009	0.00043	0.3124	0.1027	0.02539	0.01187
		PACH- 06	0.00009	0.00041	0.7099	0.2596	0.10867	0.01835
		PACH- 07	0.00116	0.00176	8.5777	18.5792	1.13658	1.25465
		PACH- 09	0.0003	0.00317	1.3056	1.0469	0.08148	0.06462
ECA-Agua (Cat. 4)		0.1		5*		0.2*		

* Se tomaron los valores del ECA-Agua (Cat. 3-D1)

 Valor que supera el Estándar de Calidad Ambiental para agua (Categoría 4).

Continuación de la Tabla 1

Zona de estudio		Puntos de monitoreo	Pb (mg/L)		Zn (mg/L)		B (mg/L)		Cr (mg/L)		Hg (mg/L)	
			Temporada húmeda	Temporada seca	Temporada húmeda	Temporada seca	Temporada húmeda	Temporada seca	Temporada húmeda	Temporada seca	Temporada húmeda	Temporada seca
UH Pachacoto	Río principal	PACH- 01	0.0016	0.0014	0.1011	0.1762	0.006	0.006	0.0003	0.0009	0.00009	0.00009
		PACH- 08	0.0006	0.0008	0.0716	0.0506	0.522	0.265	0.0003	0.0003	0.00009	0.00009
		PACH- 10	0.0006	0.0006	0.0767	0.0163	0.348	0.271	0.0003	0.0003	0.00009	0.00009
	Afluentes	PACH- 02	0.0006	0.0006	0.0485	0.0302	0.006	0.006	0.0003	0.0003	0.00009	0.00009
		PACH- 03	0.0029	0.0006	1.8619	5.1204	0.006	0.006	0.0003	0.0003	0.00009	0.00009
		PACH- 04	0.0006	0.0008	0.0303	0.0053	0.006	0.006	0.0003	0.0003	0.00009	0.00009
		PACH- 05	0.0006	0.0006	0.0201	0.0099	0.006	0.006	0.0003	0.0003	0.00009	0.00009
		PACH- 06	0.0006	0.0006	0.0307	0.0154	0.006	0.006	0.0003	0.0003	0.00009	0.00009
		PACH- 07	0.0006	0.0006	0.1316	0.1924	0.006	0.006	0.0003	0.0003	0.00009	0.00009
		PACH- 09	0.0006	0.0006	0.0773	0.0277	0.006	0.041	0.0003	0.0003	0.00009	0.00009
ECA-Agua (Cat. 4)		0.0025		0.12		1*		0.1*		0.0001		

* Se tomaron los valores del ECA-Agua (Cat. 3-D1)

 Valor que supera el Estándar de Calidad Ambiental para agua (Categoría 4).

Continuación de la Tabla 1

Zona de estudio		Puntos de monitoreo	Fosfato(mg/L)		Sulfuro (mg/L)		Nitrato (mg/L)	
			Temporada húmeda	Temporada seca	Temporada húmeda	Temporada seca	Temporada húmeda	Temporada seca
UH Pachacoto	Río principal	PACH- 01	0.038	0.038	0.0019	0.0019	0.139	0.062
		PACH- 08	0.038	0.038	0.0019	0.0019	0.228	0.131
		PACH- 10	0.038	0.038	0.0019	0.0019	0.197	0.08
	Afluentes	PACH- 02	0.038	0.038	0.0019	0.0019	0.111	0.062
		PACH- 03	0.038	0.038	0.0019	0.0019	0.062	0.062
		PACH- 04	0.038	0.038	0.0019	0.0019	0.363	0.204
		PACH- 05	0.038	0.038	0.0019	0.0019	0.697	0.062
		PACH- 06	0.038	0.038	0.0019	0.0019	1.76	0.062
		PACH- 07	0.038	0.038	0.0019	0.0019	0.117	0.062
		PACH- 09	0.038	0.038	0.0019	0.0019	0.157	0.062
ECA-Agua (Cat. 4)			0.4*		0.002		13	

*Se tomaron los valores del Decreto Supremo N°24.176 – Clase "A". Bolivia

5.2. UH Pariac-Rajucolta

Los resultados de los análisis fisicoquímicos y químicos del agua en la UH Pariac-Rajucolta que a continuación se presentan, están ordenados por parámetro (columna) analizado en cada punto (fila) evaluado, desde los puntos de evaluación en el río principal hasta los puntos de los afluentes al río principal.

La tabla 2 presenta los resultados obtenidos de los diez puntos de evaluación en la UH Pariac-Rajucolta correspondiente al año 2022 (temporada húmeda y seca), donde se puede observar el resultado de los parámetros de pH, oxígeno disuelto (OD), conductividad eléctrica (CE), turbidez y 11 metales evaluados: aluminio (Al), arsénico (As), boro (B), cadmio (Cd), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), plomo (Pb), zinc (Zn), cromo (Cr) y mercurio (Hg), además de los parámetros de sulfuro, fosfato y nitrato incorporados para este año 2022. Estos resultados han sido comparados con el ECA - Agua (Cat. 4), sin embargo, se ha tomado como valor referencial la Categoría 3-D1 “Riego de vegetales” para el caso de algunos parámetros donde en la categoría 4, no se reporta un valor, como es para el aluminio, cadmio, hierro, manganeso, boro y cromo y el D.S. N°24.176 – Clase “A” para el fosfato.

Se registraron valores de pH bajos en temporada húmeda y seca en los puntos 01 y 02. En la temporada húmeda se registró el valor más bajo en el punto 01, con un pH de 5.1, mientras que en temporada seca presenta un valor de pH de 4.48, encontrándose por debajo del rango establecido (6.5 – 9.0) en el ECA para agua (Cat. 4). Para todos los parámetros evaluados, los 08 puntos de evaluación restantes se encuentran dentro del ECA para agua (Cat. 4), esto quiere decir que, para los parámetros evaluados, 08 puntos cumplen con esta categoría que es para aguas de conservación del ambiente acuático; incluyendo así el cumplimiento del D.S. N°24.176 – Clase “A” para el fosfato.

Tabla 2. Resultados de los parámetros fisicoquímicos y químicos de la UH Pariac - Rajucolta durante el año 2022.

Zona de estudio		Puntos de monitoreo	pH (Und. pH)		OD (mg/l)		CE (uS/cm)		Turb. (NTU)	
			Temporada húmeda	Temporada seca	Temporada húmeda	Temporada seca	Temporada húmeda	Temporada seca	Temporada húmeda	Temporada Seca
UH Pariac-Rajucolta	Río principal	RJC- 01	5.1	4.48	5.33	5.88	95	106	1.18	1.01
		RJC- 05	6.56	6.9	7.03	6.27	87	102	1.38	4.07
		RJC- 09	7.25	7.38	7.13	5.94	81	99	1.57	1.88
	Afluentes	RJC- 02	5.98	5.3	5.56	6.47	79	109	0.71	0.92
		RJC- 03	7.49	7.55	5.68	5.8	101	135	5.13	3.63
		RJC- 04	7.97	7.69	7.84	6.28	74	86	2.08	2.95
		RJC- 06	7.31	7.15	7.09	6.37	38	24	0.36	2.45
		RJC- 07	7.17	6.96	7.25	5.31	17	6	2.85	2.43
		RJC- 08	7.6	7.42	7.48	6.07	56	71	1.06	1.3
		RJC- 10	7.52	7.39	6.93	6.54	29	67	0.87	0.91
ECA-Agua (Cat. 4)		6,5 - 9,0		≥ 5		1000		-----		

Valor que supera el Estándar de Calidad Ambiental para agua (Categoría 4).

Continuación de la Tabla 2

Zona de estudio		Puntos de monitoreo	Cu (mg/L)		Fe(mg/L)		Mn(mg/L)	
			Temporada húmeda	Temporada seca	Temporada húmeda	Temporada seca	Temporada húmeda	Temporada seca
UH Pariac-Rajucolta	Río principal	RJC- 01	0.00143	0.00234	0.1157	0.0424	0.1414	0.1303
		RJC- 05	0.00074	0.00575	0.2083	0.1772	0.11205	0.09244
		RJC- 09	0.00118	0.00164	0.3791	0.474	0.0861	0.11954
	Afluentes	RJC- 02	0.00177	0.00229	0.004	0.0123	0.07889	0.07964
		RJC- 03	0.00177	0.00593	1.029	0.1069	0.02432	0.00353
		RJC- 04	0.00009	0.00023	0.085	0.0807	0.00235	0.00312
		RJC- 06	0.00009	0.00022	0.0109	0.0137	0.00121	0.00112
		RJC- 07	0.00009	0.00016	0.0492	0.0855	0.00321	0.00275
		RJC- 08	0.00009	0.00009	0.0088	0.12	0.00053	0.00093
		RJC- 10	0.00022	0.00019	0.0886	0.0338	0.00354	0.00212
ECA-Agua (Cat. 4)		0.1		5*		0.2*		

* Se tomaron los valores del ECA-Agua (Cat. 3-D1)

Continuación de la Tabla 2

Zona de estudio		Puntos de monitoreo	Pb (mg/L)		Zn (mg/L)		B (mg/L)		Cr (mg/L)		Hg (mg/L)	
			Temporada húmeda	Temporada seca	Temporada húmeda	Temporada seca	Temporada húmeda	Temporada seca	Temporada húmeda	Temporada seca	Temporada húmeda	Temporada seca
UH Pariac-Rajucolta	Río principal	RJC- 01	0.0006	0.0006	0.0233	0.0738	0.006	0.006	0.0003	0.0003	0.00009	0.00009
		RJC- 05	0.0006	0.0006	0.0525	0.0371	0.006	0.025	0.0003	0.0003	0.00009	0.00009
		RJC- 09	0.0006	0.0006	0.0221	0.0459	0.006	0.021	0.0003	0.0003	0.00009	0.00009
	Afluentes	RJC- 02	0.0006	0.0006	0.0365	0.0662	0.006	0.006	0.0003	0.0003	0.00009	0.00009
		RJC- 03	0.0006	0.0006	0.0026	0.0099	0.006	0.006	0.0003	0.0003	0.00009	0.00009
		RJC- 04	0.0006	0.0006	0.0026	0.0058	0.006	0.006	0.0003	0.0003	0.00009	0.00009
		RJC- 06	0.0006	0.0006	0.0026	0.008	0.006	0.006	0.0003	0.0003	0.00009	0.00009
		RJC- 07	0.0006	0.0006	0.0026	0.01	0.006	0.006	0.0003	0.0003	0.00009	0.00009
		RJC- 08	0.0006	0.0006	0.0045	0.0055	0.006	0.006	0.0003	0.0003	0.00009	0.00009
		RJC- 10	0.0006	0.0006	0.0269	0.0051	0.006	0.006	0.0003	0.0003	0.00009	0.00009
ECA-Agua (Cat. 4)			0.0025		0.12		1*		0.1*		0.0001	

* Se tomaron los valores del ECA-Agua (Cat. 3-D1)

Continuación de la Tabla 2

Zona de estudio		Puntos de monitoreo	Al(mg/L)		As (mg/L)		Cd (mg/l)	
			Temporada húmeda	Temporada seca	Temporada húmeda	Temporada seca	Temporada húmeda	Temporada seca
UH Pariac-Rajucolta	Río principal	RJC- 01	0.795	0.544	0.00015	0.0001	0.00015	0.00023
		RJC- 05	0.508	0.246	0.0015	0.00128	0.00013	0.0002
		RJC- 09	0.36	0.442	0.00010	0.00171	0.00006	0.00005
	Afluentes	RJC- 02	0.42	0.334	0.00010	0.0001	0.0003	0.00064
		RJC- 03	0.577	0.076	0.00633	0.00703	0.00003	0.00003
		RJC- 04	0.097	0.053	0.00010	0.00054	0.00004	0.00005
		RJC- 06	0.031	0.019	0.00010	0.00077	0.00003	0.00003
		RJC- 07	0.05	0.062	0.00010	0.0001	0.00003	0.00003
		RJC- 08	0.028	0.022	0.00010	0.0001	0.00003	0.00003
		RJC- 10	0.05	0.027	0.00010	0.0001	0.00003	0.00003
ECA-Agua (Cat. 4)			5*		0.15		0.01*	

* Se tomaron los valores del ECA-Agua (Cat. 3-D1)

Continuación de la Tabla 2

Zona de estudio		Puntos de monitoreo	Fosfato(mg/L)		Sulfuro (mg/L)		Nitrato (mg/L)	
			Temporada húmeda	Temporada aeca	Temporada húmeda	Temporada aeca	Temporada húmeda	Temporada seca
UH Pariac-Rajucolta	Río principal	RJC- 01	0.038	0.038	0.0019	0.0019	0.4	0.529
		RJC- 05	0.038	0.038	0.0019	0.0019	0.799	0.405
		RJC- 09	0.038	0.038	0.0019	0.0019	0.573	0.447
	Afluentes	RJC- 02	0.038	0.038	0.0019	0.0019	0.062	0.062
		RJC- 03	0.038	0.038	0.0019	0.0019	0.707	0.531
		RJC- 04	0.038	0.038	0.0019	0.0019	0.335	0.328
		RJC- 06	0.038	0.038	0.0019	0.0019	0.449	0.387
		RJC- 07	0.038	0.038	0.0019	0.0019	0.603	0.359
		RJC- 08	0.038	0.038	0.0019	0.0019	5.213	0.189
		RJC- 10	0.038	0.038	0.0019	0.0019	0.121	0.213
ECA-Agua (Cat. 4)		0.4*		0.002		13		

* *Se tomaron los valores del Decreto Supremo N°24.176 – Clase “A”. Bolivia

5.3. Microcuenca río Pucavado

Los resultados que a continuación se presentan son de los análisis fisicoquímicos y químicos del agua de la microcuenca del río Pucavado. La información está ordenada por parámetro (columna) analizado en cada punto (fila) evaluado, en el cual primero se muestran los resultados de los puntos de evaluación en el río principal, comenzando desde la parte alta, luego se muestran los puntos de los afluentes al río principal.

En la tabla 3, se presenta los resultados obtenidos de los nueve puntos de evaluación de la microcuenca del río Pucavado, correspondiente al año 2022 (temporada húmeda y seca). Se puede observar el resultado de los parámetros ambientales pH, oxígeno disuelto (OD), conductividad eléctrica (CE) y turbidez, además de los 11 metales evaluados que son aluminio (Al), arsénico (As), boro (B), cadmio (Cd), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), plomo (Pb), zinc (Zn), cromo (Cr) y mercurio (Hg) y de los parámetros incorporados para este año que son el sulfuro, fosfato y nitrato. Estos resultados fueron comparados con el ECA para agua (Cat. 4), sin embargo, se ha tomado como valor de referencia la Categoría 3-D1 “Riego de vegetales” en caso no se reporta algún valor en la categoría 4, como es para el aluminio, cadmio, hierro, manganeso, boro y cromo y el D.S. N°24.176 - Clase “A” para el fosfato.

Según los resultados obtenidos en temporada húmeda y seca los valores de pH son muy bajos, es decir las aguas son ácidas en los puntos 05, 06, 07, 08 y 09, encontrándose fuera del rango establecido en el ECA para agua (Cat. 4), con valores mínimos de 2.49 y 2.77 para las temporadas húmeda y seca de respectivamente en el punto 07. En cuanto a la conductividad eléctrica se encontró que el punto 07 supera el valor establecido (1000 uS/cm) en el ECA para agua (Cat. 4), tanto en temporada húmeda como en temporada seca, con valores de 1834 y 2164 uS/cm respectivamente, siendo aproximadamente en 1.8 y 2.2 veces mayor a la normativa en temporada húmeda y seca.

Asimismo, se registraron altas concentraciones de aluminio en temporada húmeda y seca en el punto 07 y también en temporada seca en el punto 05. El valor de la concentración durante la temporada húmeda en el punto 07 fue 22.593 mg/L, siendo aproximadamente 4.5 veces mayor a la concentración máxima establecida (5 mg/L) en la normativa de referencia del ECA para agua (Cat. 3-D1), mientras que en temporada seca se registró la concentración más alta 41.67 mg/L, con aproximadamente 8.3 veces mayor a la concentración máxima establecida.

En cuanto al cadmio, el punto 07 en temporada seca registró una concentración de 0.01042 mg/L, superando mínimamente la normativa de referencia del ECA para agua (Cat. 3-D1) que establece como máxima concentración 0.01 mg/L. Para el caso del cobre en temporada

húmeda y seca, se tiene que el punto 07 supera la normativa del ECA para agua (Cat. 4), en la temporada húmeda la concentración fue de 0.23464 mg/L, siendo 2.3 veces el valor establecido (0.1 mg/L) en la normativa, mientras que para la temporada seca tuvo una concentración de 0.18336 mg/L, siendo 1.8 veces el valor máximo establecido (0.1 mg/L).

Para el caso del hierro en temporada húmeda y seca el punto 07 superó la normativa de referencia del ECA para agua (Cat. 3-D1), registrándose en temporada húmeda una concentración de 55.6779 mg/L, siendo 11.1 veces mayor al valor establecido (5 mg/L) en la normativa, mientras que en temporada seca se registró una concentración de 74.1226 mg/L, es decir 14.8 veces mayor al valor establecido.

En referencia al manganeso en temporada húmeda y seca, los puntos 05, 06, 07, 08 y 09 superan la normativa de referencia del ECA para agua (Cat. 3-D1), en la cual el punto 07 presentó las concentraciones más altas en temporada húmeda y seca, 4.42372 y 7.35131 mg/L respectivamente, superando el valor establecido (0.2 mg/L) en la norma.

Para el caso del plomo en temporada húmeda y seca, los puntos 07, 08 y 09 superan la normativa del ECA para agua (Cat. 4), registrándose la concentración más alta en temporada seca en el punto 08, con una concentración de 0.0129 mg/L, siendo 5.2 veces mayor al valor establecido (0.0025 mg/L).

El zinc en temporada húmeda supera la normativa del ECA para agua (Cat. 4) en los puntos 05, 07, 08 y 09 y en temporada seca en los puntos 05, 06, 07, 08 y 09 respectivamente, registrándose la concentración más alta en temporada seca en el punto 07, con una concentración de 1.8159 mg/L, siendo 15.1 veces el valor establecido (0.12 mg/L) en la normativa.

Por último, los resultados de los parámetros de sulfuro, fosfato y nitrato, incorporados en la evaluación del año 2022, no superan el valor establecido por el ECA para el agua (Cat. 4) y el D.S. N° 24.176 - Clase "A" (Bolivia) para el caso del fosfato.

También, con estos resultados obtenidos, observamos que ninguno de los nueve puntos evaluados cumple con el ECA para agua (Cat. 4).

Tabla 3. Resultados de los parámetros fisicoquímicos y químicos de la microcuenca del río Pucavado durante el año 2022.

Zona de estudio		Puntos de monitoreo	pH (Und. pH)		OD (mg/l)		CE (uS/cm)		Turb. (NTU)	
			Temporada húmeda	Temporada seca	Temporada húmeda	Temporada seca	Temporada húmeda	Temporada seca	Temporada húmeda	Temporada seca
M. Pucavado	Río principal	PUC- 01	6.55	6.99	6.95	6.01	108	108	1.01	0.6
		PUC- 06	4.86	4.43	7.05	5.91	201	333	1.97	10.6
		PUC- 08	4.16	3.81	7.2	5.93	205	312	1.31	11.37
		PUC- 09	4.39	4.19	7.76	6.98	201	289	1.8	13.4
	Afluentes	PUC- 02	7.84	7.61	7.25	5.17	85	101	1.09	0.52
		PUC- 03	7.07	6.74	7.1	5.31	38	32	0.35	3.82
		PUC- 04	7.13	7.22	7.15	5.18	40	42	2.62	6.65
		PUC- 05	3.48	3.31	7.03	5.08	480	814	2.74	9.76
		PUC- 07	2.49	2.77	5.62	5.11	1834	2164	0.16	9.15
ECA-Agua (Cat. 4)			6,5 - 9,0		≥ 5		1000		-----	

Valor que supera el Estándar de Calidad Ambiental para agua (Categoría 4).

Continuación de la Tabla 3

Zona de estudio		Puntos de monitoreo	Al(mg/L)		As (mg/L)		Cd (mg/l)	
			Temporada húmeda	Temporada seca	Temporada húmeda	Temporada seca	Temporada húmeda	Temporada seca
M. Pucavado	Río Principal	PUC- 01	0.515	0.236	0.00224	0.00314	0.00065	0.00048
		PUC- 06	1.069	2.63	0.00136	0.0005	0.00033	0.00024
		PUC- 08	1.08	2.35	0.0011	0.00163	0.00109	0.00139
		PUC- 09	1.02	2.12	0.00063	0.0001	0.00109	0.00139
	Afluentes	PUC- 02	0.013	0.018	0.00372	0.00541	0.00003	0.00003
		PUC- 03	0.003	0.003	0.00010	0.0001	0.00003	0.00003
		PUC- 04	0.039	0.01	0.00033	0.00052	0.00015	0.00005
		PUC- 05	3.073	5.683	0.00058	0.00059	0.00054	0.00044
		PUC- 07	22.593	41.67	0.00076	0.00162	0.00627	0.01042
ECA-Agua (Cat. 4)		5*		0.15		0.01*		

* Se tomaron los valores del ECA-Agua (Cat. 3-D1)

Valor que supera el Estándar de Calidad Ambiental para agua (Categoría 4).

Continuación de la Tabla 3

Zona de estudio		Puntos de monitoreo	Cu (mg/L)		Fe(mg/L)		Mn(mg/L)	
			Temporada húmeda	Temporada seca	Temporada húmeda	Temporada seca	Temporada húmeda	Temporada seca
M. Pucavado	Río principal	PUC- 01	0.00048	0.0005	0.0585	0.048	0.08522	0.05604
		PUC- 06	0.00077	0.00426	0.3036	0.5731	0.34462	0.67805
		PUC- 08	0.00215	0.00245	0.6062	1.0048	0.36477	0.6314
		PUC- 09	0.00133	0.00297	0.3466	0.0832	0.36991	0.63031
	Afluentes	PUC- 02	0.00009	0.00009	0.0178	0.0154	0.00172	0.00109
		PUC- 03	0.00009	0.00009	0.0397	0.0139	0.00529	0.00415
		PUC- 04	0.00009	0.00009	0.0953	0.0677	0.03962	0.05684
		PUC- 05	0.00133	0.00135	0.8142	1.9105	0.79187	1.43318
		PUC- 07	0.23464	0.18336	55.6779	74.1226	4.42372	7.35131
ECA-Agua (Cat. 4)			0.1		5*		0.2*	

* Se tomaron los valores del ECA-Agua (Cat. 3-D1)

 Valor que supera el Estándar de Calidad Ambiental para agua (Categoría 4).

Continuación de la Tabla 3

Zona de estudio		Puntos de monitoreo	Pb (mg/L)		Zn (mg/L)		B (mg/L)		Cr (mg/L)		Hg (mg/L)	
			Temporada húmeda	Temporada seca	Temporada húmeda	Temporada seca	Temporada húmeda	Temporada seca	Temporada húmeda	Temporada seca	Temporada húmeda	Temporada seca
M. Pucavado	Río principal	PUC- 01	0.0006	0.0006	0.1024	0.0671	0.006	0.006	0.0003	0.0003	0.00009	0.00009
		PUC- 06	0.0006	0.0021	0.1091	0.2023	0.006	0.006	0.0003	0.0003	0.00009	0.00009
		PUC- 08	0.0081	0.0129	0.2711	0.4694	0.006	0.006	0.0003	0.0003	0.00009	0.00009
		PUC- 09	0.006	0.0087	0.2652	0.4345	0.007	0.006	0.0003	0.0003	0.00009	0.00009
	Afluentes	PUC- 02	0.0006	0.0006	0.0196	0.0026	0.006	0.006	0.0003	0.0003	0.00009	0.00009
		PUC- 03	0.0006	0.0006	0.0165	0.0048	0.006	0.006	0.0004	0.0003	0.00009	0.00009
		PUC- 04	0.0006	0.0006	0.0552	0.0085	0.006	0.006	0.0003	0.0003	0.00009	0.00009
		PUC- 05	0.0006	0.0007	0.2634	0.4212	0.006	0.006	0.0003	0.0003	0.00009	0.00009
		PUC- 07	0.0037	0.0058	1.0718	1.8159	0.006	0.006	0.0034	0.0031	0.00009	0.00009
ECA-Agua (Cat. 4)			0.0025		0.12		1*		0.1*		0.0001	

* Se tomaron los valores del ECA-Agua (Cat. 3-D1)

 Valor que supera el Estándar de Calidad Ambiental para agua (Categoría 4).

Continuación de la Tabla 3

Zona de estudio		Puntos de monitoreo	Fosfato(mg/L)		Sulfuro (mg/L)		Nitrato (mg/L)	
			Temporada húmeda	Temporada seca	Temporada húmeda	Temporada seca	Temporada húmeda	Temporada seca
M. Pucavado	Río principal	PUC- 01	0.038	0.038	0.0019	0.0019	0.15	0.062
		PUC- 06	0.038	0.038	0.0019	0.0019	0.173	0.062
		PUC- 08	0.038	0.038	0.0019	0.0019	0.193	0.073
		PUC- 09	0.038	0.038	0.0019	0.0019	0.201	0.075
	Afluentes	PUC- 02	0.038	0.038	0.0019	0.0019	0.868	0.119
		PUC- 03	0.038	0.039	0.0019	0.0019	0.062	0.062
		PUC- 04	0.038	0.038	0.0019	0.0019	0.187	0.15
		PUC- 05	0.038	0.038	0.0019	0.0019	0.062	0.062
		PUC- 07	0.038	0.038	0.0019	0.0019	0.062	3.338
ECA-Agua (Cat. 4)			0.4*		0.002		13	

*Se tomaron los valores del Decreto Supremo N°24.176 – Clase “A”. Bolivia

5.4. Subcuenca del río Negro

Los resultados que a continuación se presentan provienen de las mediciones fisicoquímicas y análisis químicos del agua de la subcuenca del río Negro. La información está ordenada por parámetro (columna) analizado en cada punto (fila) evaluado, en el cual primero se muestran los resultados de los puntos de evaluación en el río principal, comenzando desde la parte alta, luego se muestran los puntos de los afluentes al río principal.

En la tabla 4, se presenta los resultados obtenidos de los 09 puntos de evaluación correspondientes al año 2022, con excepción de los puntos 01 y 02 para la temporada húmeda, que por inaccesibilidad (derrumbe en la carretera) no se pudo llegar a aquellos puntos, por lo tanto, las comparaciones se harán sin usar estos valores. En la tabla 4, se registran los resultados de pH, oxígeno disuelto (OD), conductividad eléctrica (CE), turbidez, y 11 metales evaluados: aluminio (Al), arsénico (As), boro (B), cadmio (Cd), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), plomo (Pb), zinc (Zn), cromo (Cr), mercurio (Hg) y los últimos parámetros incorporados sulfuro, fosfato y nitrato. Estos resultados han sido comparados con el ECA para agua (Cat. 3-D1) para “Riego de vegetales”, porque de los nueve puntos de evaluación, siete se encuentran fuera de un ANP, siendo su uso principal en la agricultura en la zona de estudio y el D.S. N° 24.176 – Clase “A” de Bolivia, para el fosfato.

Según los resultados obtenidos en temporada húmeda y seca los valores de pH son muy bajos en los puntos 01, 05, 06, 08 y 09, encontrándose fuera del rango establecido en el ECA para agua (Cat. 3-D1) y se registra el mínimo valor de pH en temporada seca en el punto 01, con un valor de 3.02. Para el caso del aluminio en la temporada seca, el punto 01 superó el valor establecido en el ECA para agua (Cat. 3-D1), obteniéndose una concentración de 5.669 mg/L.

Para el caso del hierro en temporada húmeda el punto 06 superó la normativa del ECA para agua (Cat. 3-D1) registrando una concentración de 8.3318 mg/L, superando así el valor establecido en la normativa (5 mg/L). En temporada seca los valores de Fe que superaron el ECA se registraron en los puntos 01, 06, 08 y 09, de los cuales el punto 01 registra la concentración más alta con 53.5961 mg/L.

Para el manganeso en temporada húmeda y seca, encontramos que los puntos 01, 05, 06, 08 y 09 superan la normativa del ECA para agua (Cat. 3-D1). En temporada húmeda el punto 06 registró la mayor concentración 0.50989 mg/L, siendo mayor que el valor establecido (0.2 mg/L) en la normativa, mientras que en temporada seca encontramos que el punto 01 presenta la mayor concentración con 1.27625 mg/L. En el caso del zinc

tanto en temporada húmeda y seca ningún punto supera la normativa del ECA para agua (Cat. 3-D1).

Finalmente, los resultados de los parámetros de sulfuro, fosfato y nitrato, incorporados en la evaluación del año 2022, no superan el valor establecido por el ECA para el agua (Cat. 3-D1) y el D.S. N° 24.176 - Clase "A" (Bolivia) para el caso del fosfato.

También, con estos resultados obtenidos, observamos que solo los puntos 02, 03, 04 y 07 para todos los parámetros evaluados se encuentran dentro del ECA para agua (Cat. 3-D1), esto quiere decir que cumplen con esta categoría que es para riego de vegetales, sin embargo, es necesario la evaluación de otros parámetros complementarios para este uso, como es el caso de los parámetros microbiológicos según los usos que se destine.

Tabla 4. Resultados de los parámetros fisicoquímicos y químicos de la subcuenca del río Negro durante el 2022.

Zona de estudio		Puntos de monitoreo	pH (Und. pH)		OD (mg/l)		CE (uS/cm)		Turb. (NTU)	
			Temporada húmeda	Temporada seca	Temporada húmeda	Temporada seca	Temporada húmeda	Temporada seca	Temporada húmeda	Temporada seca
S. río Negro	Río principal	NEG - 01		3.02		6.01		1078		12.3
		NEG - 06	3.28	3.1	7.34	5.93	485	954	12.9	14.1
		NEG - 08	3.44	3.17	7.52	5.04	460	1008	15.2	8.7
	Afluentes	NEG - 02		6.5		6.45		69		0.29
		NEG - 03	7.13	6.72	6.85	5.18	26	30	5.16	3.61
		NEG - 04	7.04	6.98	5.35	5.03	22	19	1.09	0.54
		NEG - 05	4.46	4.25	6.6	5.21	141	453	1.1	2.54
		NEG - 07	7.45	7.96	6.7	5.28	71	105	1.77	4.5
		NEG - 09	4.2	3.09	5.46	5.42	277	877	6.8	8.47
ECA-Agua (Cat. 3 - D1)			6,5 – 8,5		≥ 5		2500		-----	

Valor que supera el Estándar de Calidad Ambiental para agua (Categoría 3-D1).

No se registra valor. Dificultad de acceso

Continuación de la Tabla 4

Zona de estudio		Puntos de monitoreo	Al(mg/L)		As (mg/L)		Cd (mg/l)	
			Temporada húmeda	Temporada seca	Temporada húmeda	Temporada seca	Temporada húmeda	Temporada seca
S. río Negro	Río principal	NEG - 01		5.669		0.00058		0.00021
		NEG - 06	2.362	4.083	0.00061	0.0001	0.00016	0.00043
		NEG - 08	2.048	4.135	0.00866	0.01285	0.00019	0.00039
	Afluentes	NEG - 02		0.018		0.00026		0.00003
		NEG - 03	0.082	0.061	0.00019	0.00029	0.00003	0.00003
		NEG - 04	0.032	0.016	0.00057	0.00014	0.00003	0.00005
		NEG - 05	0.118	0.426	0.00018	0.00049	0.00008	0.00032
		NEG - 07	0.087	0.034	0.00156	0.00065	0.00003	0.00003
		NEG - 09	1.296	3.357	0.00051	0.00031	0.00021	0.00037
ECA-Agua (Cat. 3 - D1)			5*		0.1		0.01	

Valor que supera el Estándar de Calidad Ambiental para agua (Categoría 3-D1).

No se registra valor. Dificultad de acceso

Continuación de la Tabla 4

Zona de estudio		Puntos de monitoreo	Cu (mg/L)		Fe(mg/L)		Mn(mg/L)	
			Temporada húmeda	Temporada seca	Temporada húmeda	Temporada seca	Temporada húmeda	Temporada seca
S. río Negro	Río principal	NEG - 01		0.00607		53.5961		1.27625
		NEG - 06	0.00225	0.01025	8.3318	16.8592	0.50989	0.95951
		NEG - 08	0.00234	0.00654	4.9611	13.1482	0.44577	0.95551
	Afluentes	NEG - 02		0.00009		0.0386		0.00699
		NEG - 03	0.00023	0.00009	0.112	0.0768	0.00439	0.0025
		NEG - 04	0.00024	0.00203	0.1528	0.0048	0.00165	0.00043
		NEG - 05	0.00055	0.00013	0.1433	0.0493	0.2747	0.56912
		NEG - 07	0.00046	0.00219	0.1381	0.0624	0.00469	0.00175
		NEG - 09	0.00204	0.00681	2.0509	9.9661	0.38906	0.86606
		ECA-Agua (Cat. 3 - D1)		0.2	5		0.2	

Valor que supera el Estándar de Calidad Ambiental para agua (Categoría 3-D1).

No se registra valor. Dificultad de acceso

Continuación de la Tabla 4

Zona de estudio		Puntos de monitoreo	Pb (mg/L)		Zn (mg/L)		B (mg/L)		Cr (mg/L)		Hg (mg/L)	
			Temporada húmeda	Temporada seca	Temporada húmeda	Temporada seca	Temporada húmeda	Temporada seca	Temporada húmeda	Temporada seca	Temporada húmeda	Temporada seca
S. río Negro	Río principal	NEG - 01		0.0007		0.383		0.019		0.0004		0.00009
		NEG - 06	0.0006	0.0012	0.1371	0.2365	0.015	0.006	0.0003	0.0003	0.00009	0.00009
		NEG - 08	0.0006	0.0008	0.116	0.2284	0.384	0.499	0.0003	0.0004	0.00009	0.00009
	Afluentes	NEG - 02		0.0006		0.0411		0.006		0.0003		0.00009
		NEG - 03	0.0006	0.0006	0.2215	0.0084	0.006	0.006	0.0003	0.0003	0.00009	0.00009
		NEG - 04	0.0006	0.0006	0.082	0.0261	0.006	0.006	0.0003	0.0003	0.00009	0.00009
		NEG - 05	0.0006	0.0006	0.1888	0.043	0.006	0.006	0.0003	0.0003	0.00009	0.00009
		NEG - 07	0.0006	0.0006	0.005	0.003	0.006	0.018	0.0003	0.0003	0.00009	0.00009
		NEG - 09	0.0006	0.0008	0.108	0.2158	0.02	0.007	0.0003	0.0003	0.00009	0.00009
		ECA-Agua (Cat. 3 - D1)		0.05	2		1		0.1		0.001	

Valor que supera el Estándar de Calidad Ambiental para agua (Categoría 3-D1).

No se registra valor. Dificultad de acceso

Continuación de la Tabla 4

Zona de estudio		Puntos de monitoreo	Fosfato(mg/L)		Sulfuro (mg/L)		Nitrato (mg/L)	
			Temporada húmeda	Temporada seca	Temporada húmeda	Temporada seca	Temporada húmeda	Temporada seca
S. río Negro	Río principal	NEG - 01		0.038		0.0019		0.093
		NEG - 06	0.189	0.038	0.0019	0.0019	0.232	0.637
		NEG - 08	0.104	0.038	0.0019	0.0019	0.201	0.217
	Afluentes	NEG - 02		0.038		0.0019		0.377
		NEG - 03	0.052	0.038	0.0019	0.0019	0.174	0.069
		NEG - 04	0.061	0.038	0.0019	0.0019	0.572	0.313
		NEG - 05	0.081	0.038	0.0019	0.0019	0.062	0.062
		NEG - 07	0.061	0.038	0.0019	0.0019	0.179	0.141
		NEG - 09	0.038	0.038	0.0019	0.0019	0.609	0.23
ECA-Agua (Cat. 3 - D1)		0.4*		0.002*		13*		

■ No se registra valor. Dificultad de acceso

* Se tomaron los valores del ECA-Agua (Cat. 4) - Ríos

*Se tomaron los valores del Decreto Supremo N° 24.176 – Clase “A”. Bolivia

5.5. Caudal en las zonas de estudio

En la tabla 5, se presentan las cuatro zonas de estudio con las mediciones de caudal que se realizó en temporada húmeda y seca en el año 2022. Cabe precisar que varios de los puntos en temporada húmeda y seca no se pudieron medir por presentar un fuerte caudal, en la mayoría de casos en el río principal y en alguno de los casos porque algunas quebradas presentaban muy poca agua o estaban secas.

Tabla 5. Mediciones de caudal durante la temporada húmeda y seca en las cuatro zonas de estudio en el año 2022.

Zona de estudio	Nombre de estación	Caudal (l/s)	Caudal (l/s)
		Temporada húmeda	Temporada seca
UH Pachacoto	PACH- 01	23.56	10.14
	PACH- 08	1505	608.3
	PACH- 10		
	PACH- 02	123	208
	PACH- 03	13.53	0.22
	PACH- 04	237.1	139.2
	PACH- 05	66.05	17.04
	PACH- 06	120.7	20.62
	PACH- 07	383.6	269.2
	PACH- 09	320.2	12.67
UH Pariac-Rajucoita	RJC- 01	993.1	368.3
	RJC- 05	1381	436.9
	RJC- 09		
	RJC- 02	23.66	12.48
	RJC- 03	3.72	2.129
	RJC- 04	18.43	4.85
	RJC- 06	7.58	10.9
	RJC- 07		10.79
	RJC- 08	7.68	3.838
	RJC- 10	51.03	84.31
M. Pucavado	PUC- 01	25.62	7.15
	PUC- 06	258.9	69.93
	PUC- 08	327.2	138
	PUC- 09	271.5	8.256
	PUC- 02	6.504	8.307
	PUC- 03	5.479	
	PUC- 04	11.78	1.14
	PUC- 05	104.3	69.44
	PUC- 07		

■ No se registra valor. Fuente de agua seca y/o con mucho caudal (riesgo de seguridad).

Continuación de la tabla 5

Zona de estudio	Nombre de estación	Caudal (l/s)	Caudal (l/s)
		Temporada húmeda	Temporada húmeda
Subcuenca del río Negro	NEG - 01		453.9
	NEG - 06		702.5
	NEG - 08		
	NEG - 02		5.21
	NEG - 03	10.2	3.51
	NEG - 04	6.16	1.75
	NEG - 05	1.052	1.59
	NEG - 07	232.8	27.7
	NEG - 09	640.6	744.4

 No se registra valor. Fuente de agua seca y/o con mucho caudal (riesgo de seguridad).

De los resultados, se observa que el caudal disminuye considerablemente en temporada seca, con algunas excepciones como es el caso del punto 02 de la UH Pachacoto, el punto 10 de la UH Pariac-Rajucolta, el punto 02 de la microcuenca del río Pucavado y los puntos 05 y 09 de la subcuenca del río Negro.

5.6. Relación del caudal con los parámetros evaluados

• UH PACHACOTO

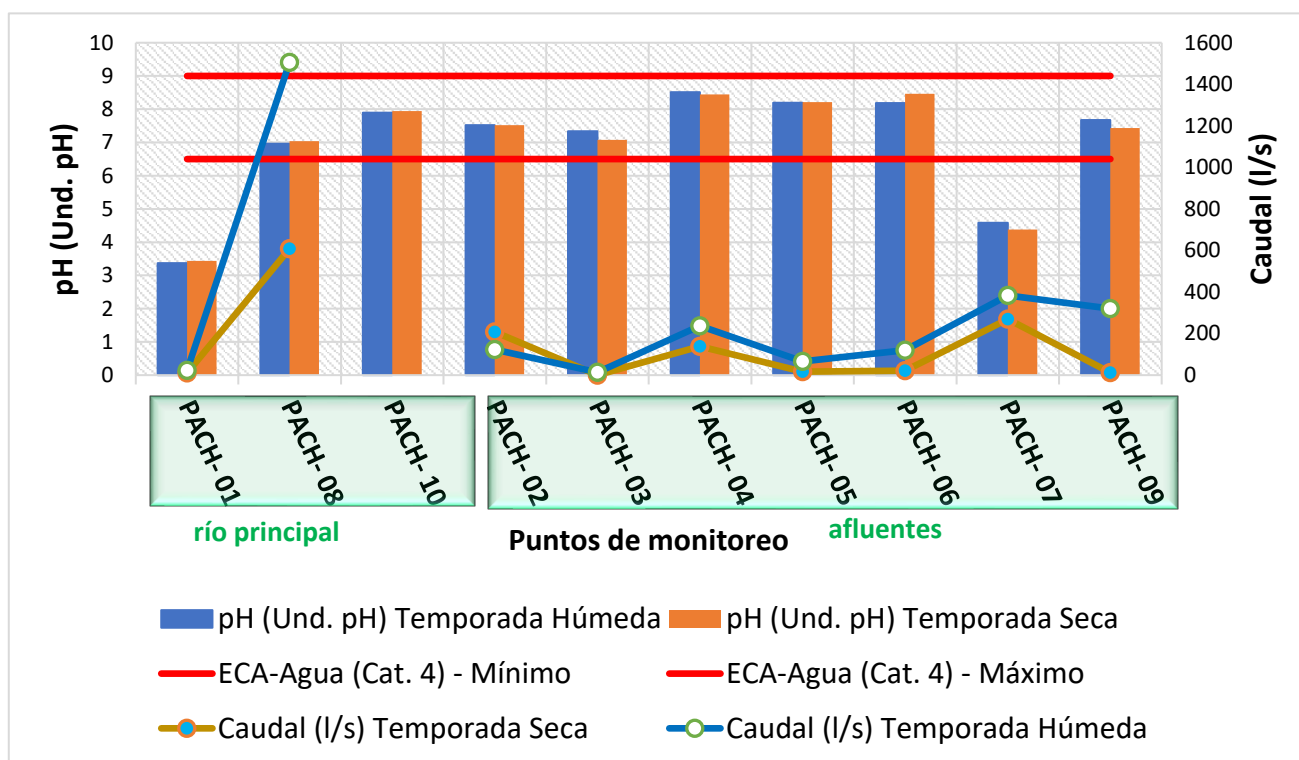


Figura 11. Comportamiento del pH durante el 2022 vs caudal.

En la figura 11, se observa el comportamiento del valor del pH en temporada húmeda y seca. En la temporada húmeda encontramos que los puntos 01 y 07 están por debajo del rango establecido (6,5 – 9) en el ECA para el agua (Cat. 4), de los cuales el valor más bajo corresponde al punto 01 con un valor de 3.44. En temporada seca, los puntos que se encuentran fuera del rango establecido por el ECA también son los puntos 01 y 07 con valores de 3.44 y 4.38 respectivamente, evidenciándose que el punto 01 presenta el valor más bajo. Del gráfico se puede establecer al punto 01 como aquel que registra valores más ácidos tanto en temporada húmeda y seca durante el año 2022. Además, se puede evidencia que en la mayoría de los puntos evaluados el valor del pH disminuye cuando baja el caudal con excepción de los puntos 01, 06 y 08, que presentan un ligero incremento del valor de pH.

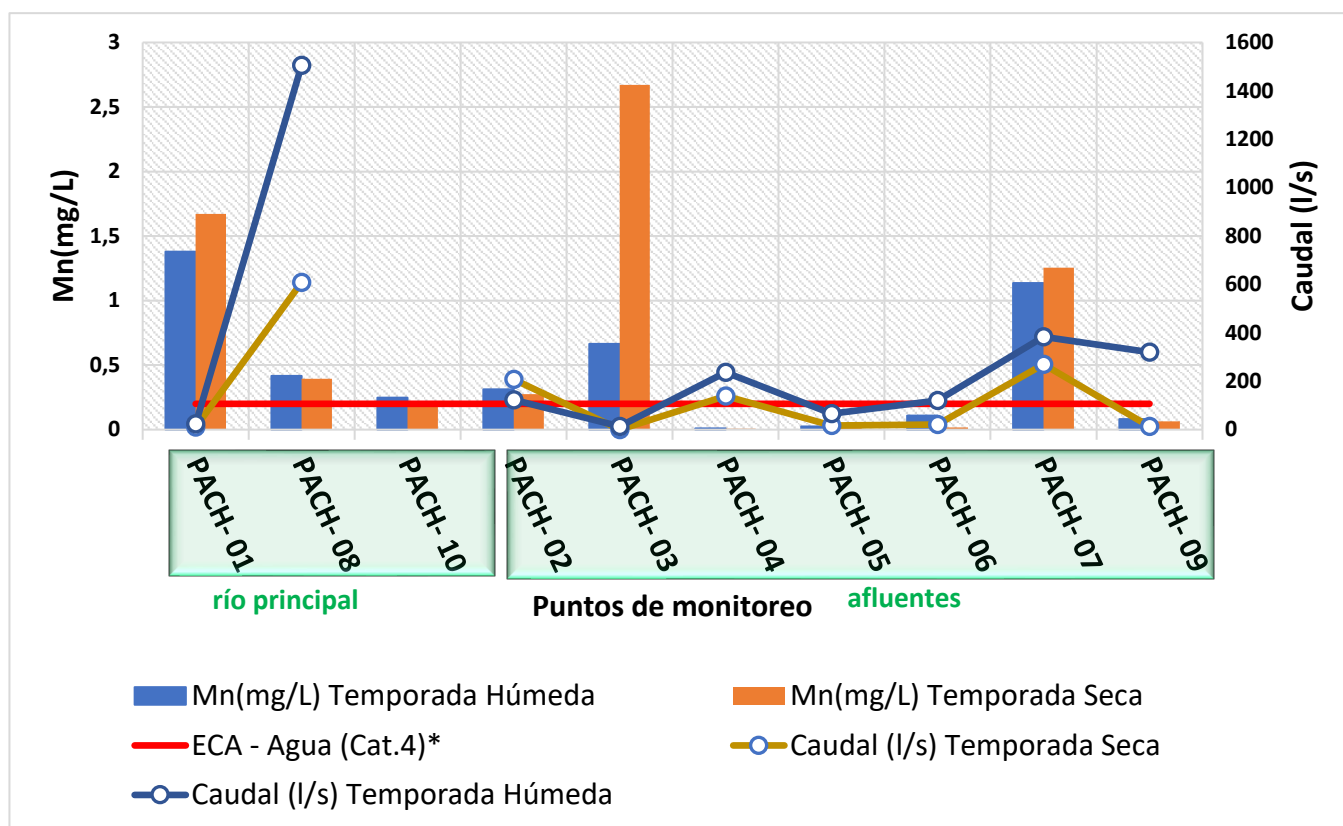


Figura 12. Comportamiento del Mn durante el 2022 vs caudal.

En la figura 12, se observa el comportamiento de la concentración del manganeso en temporada húmeda y seca en los diez puntos de evaluación. En temporada húmeda los puntos que superan el valor referencial establecido (0.2 mg/L) del ECA para agua (Cat. 3-D1) son: 01, 02, 03, 07, 08 y 10 con valores de 1.37813, 0.31235, 0.6653, 1.13658, 0.41542 y 0.24767 mg/L respectivamente, siendo el punto 01 el que registra la mayor concentración y supera en 6.9 veces el valor establecido en la normativa. En la temporada seca los puntos que superan el ECA son: 01, 02, 03, 07 y 08 con valores de 1.67065, 0.27534, 2.67153, 1.25465 y 0.39515 mg/L respectivamente, siendo el punto 03 el valor más alto superando el ECA en 13.4 veces. Además, se puede afirmar que los puntos 01, 03 y 07 como aquellos que registran las más altas concentraciones de manganeso tanto en temporada húmeda y seca durante el año 2022. Además, se ve el incremento del valor de la concentración de manganeso con la disminución del caudal en la temporada seca, principalmente en los puntos 01, 03 y 07.

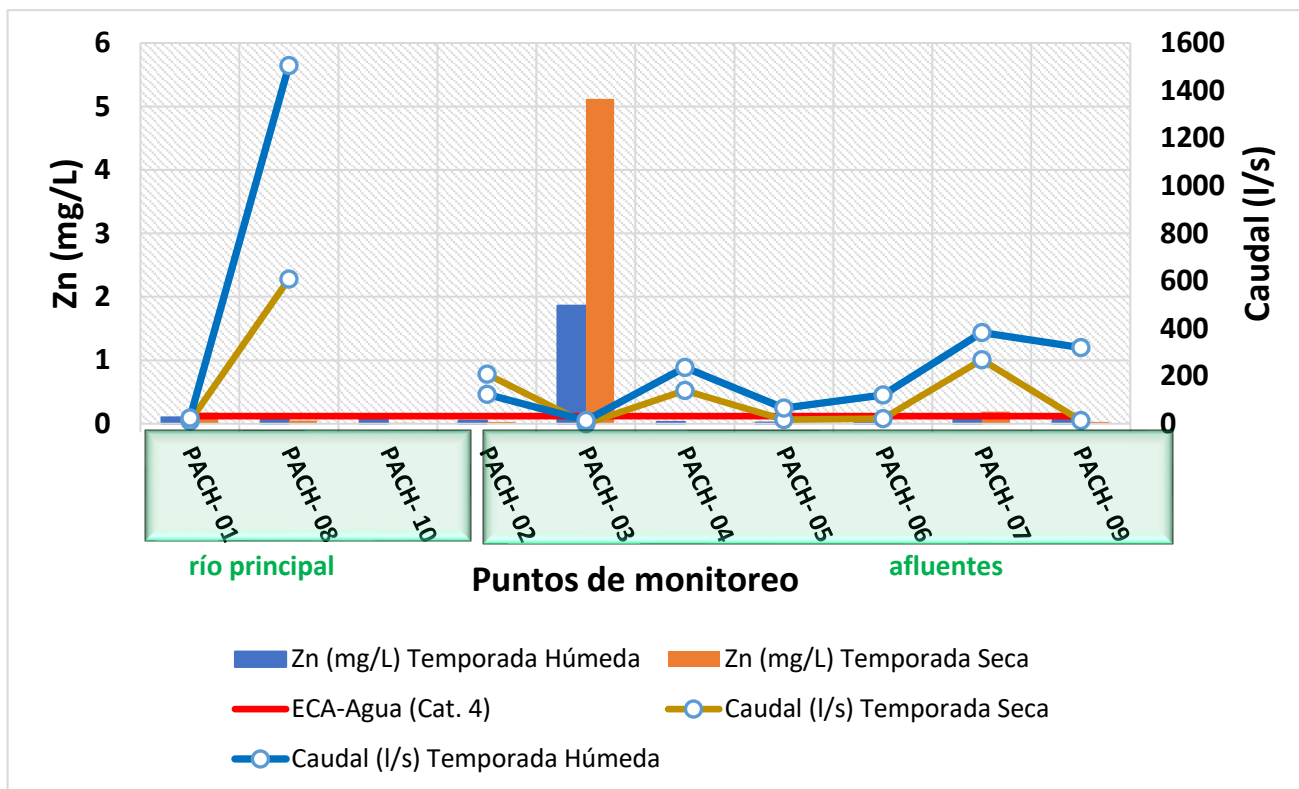


Figura 13. Comportamiento del Zn durante el 2022 vs caudal.

En la figura 13, se observa el comportamiento del zinc en temporada húmeda y seca en los diez puntos de evaluación. En temporada húmeda los puntos que superaron el valor establecido (0.12 mg/L) del ECA para agua (Cat. 4) fueron los puntos 03 y 07, registrando concentraciones de 1.8619 y 0.1316 mg/L respectivamente, la concentración máxima lo registró el punto 03, superando en 15.5 veces el valor establecido en el ECA. En la temporada seca encontramos a los puntos 01, 03 y 07 que superan al ECA y registran concentraciones de 0.1762, 5.1204 y 0.1924 mg/L respectivamente, el punto 03 supera 42.7 veces el valor establecido en el ECA. De ambas temporadas se considera al punto 03, como el punto de muestreo que registra las más altas concentraciones de Zinc. Además, se ve el incremento del valor de la concentración de zinc con la disminución del caudal en la temporada seca, principalmente en los puntos 01, 03 y 07.

- UH PARIAC-RAJUCOLTA

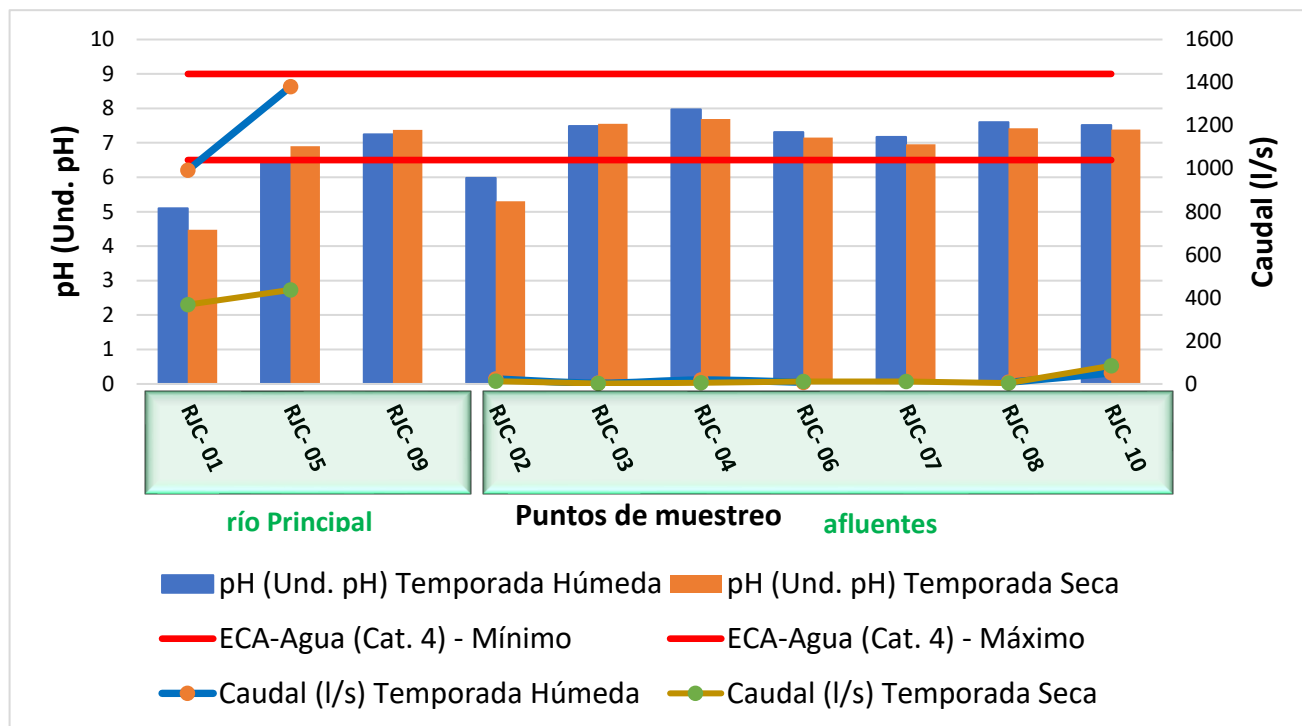


Figura 14. Comportamiento del pH durante el 2022 vs caudal.

En la figura 14, se observa el comportamiento del pH tanto en temporada húmeda y seca en los diez puntos de evaluación. En temporada húmeda los puntos que están por debajo del rango establecido (6,5 – 9) en el ECA para el agua (Cat. 4) son los puntos 01 y 02, de los cuales el valor más bajo corresponde al punto 01 con un valor de 5.1. En temporada seca los puntos que se encuentran fuera del rango establecido por el ECA son los puntos 01 y 02 con valores de 4.48 y 5.3 respectivamente, siendo el punto 01 el valor más bajo con aproximadamente 2 unidades por debajo de lo establecido por el ECA. Con estos resultados se puede establecer que el punto 01 es el que registra valores más ácidos durante la evaluación del año 2022. Además, se observa que el valor del pH disminuye cuando baja el caudal, con excepción de los puntos 03, 05 y 09, donde se observa un ligero incremento.

- MICROCUENCA DEL RÍO PUCAVADO

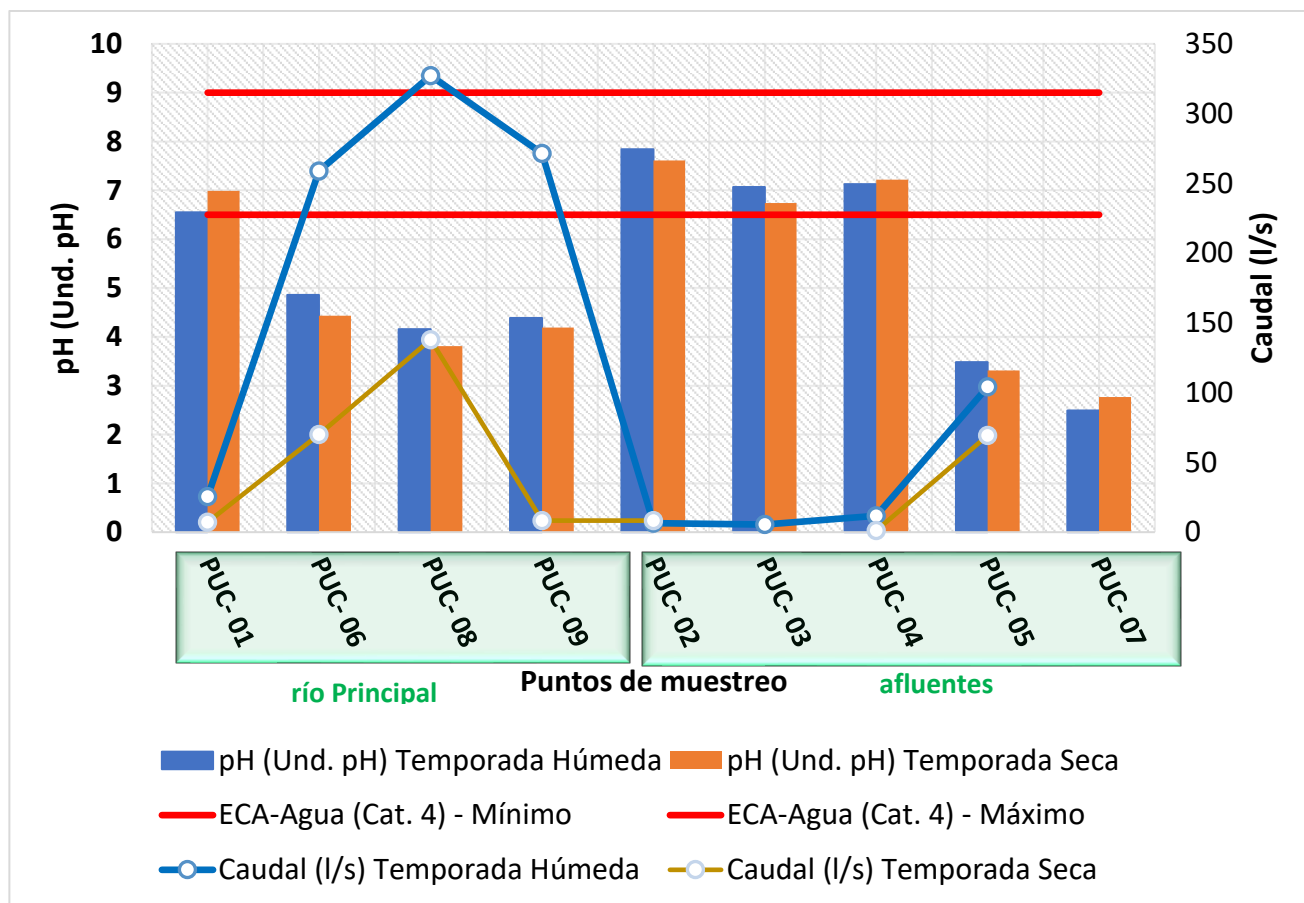


Figura 15. Comportamiento del pH durante el 2022 vs caudal.

En la figura 15, se observa el comportamiento del pH en temporada húmeda y seca en nueve puntos de evaluación. En temporada húmeda los puntos que están por debajo el rango establecido (6,5 – 9) en el ECA para el agua (Cat. 4) son los puntos 05, 06, 07, 08 y 09 de los cuales el valor más bajo corresponde al punto 07 con un valor de 2.49. En la temporada seca los puntos que se encuentran fuera del rango establecido por el ECA son los mismos puntos que en la temporada húmeda, siendo el punto 07 el valor más bajo 2.77. Con estos resultados se evidencia que el punto 07 registra los valores más ácidos en las evaluaciones de las temporada húmeda y seca durante el año 2022. Además, se observa que el pH disminuye en temporada seca, es decir cuando el caudal del agua baja, con excepción de los puntos 01, 04 y 07, donde se observa un ligero incremento.

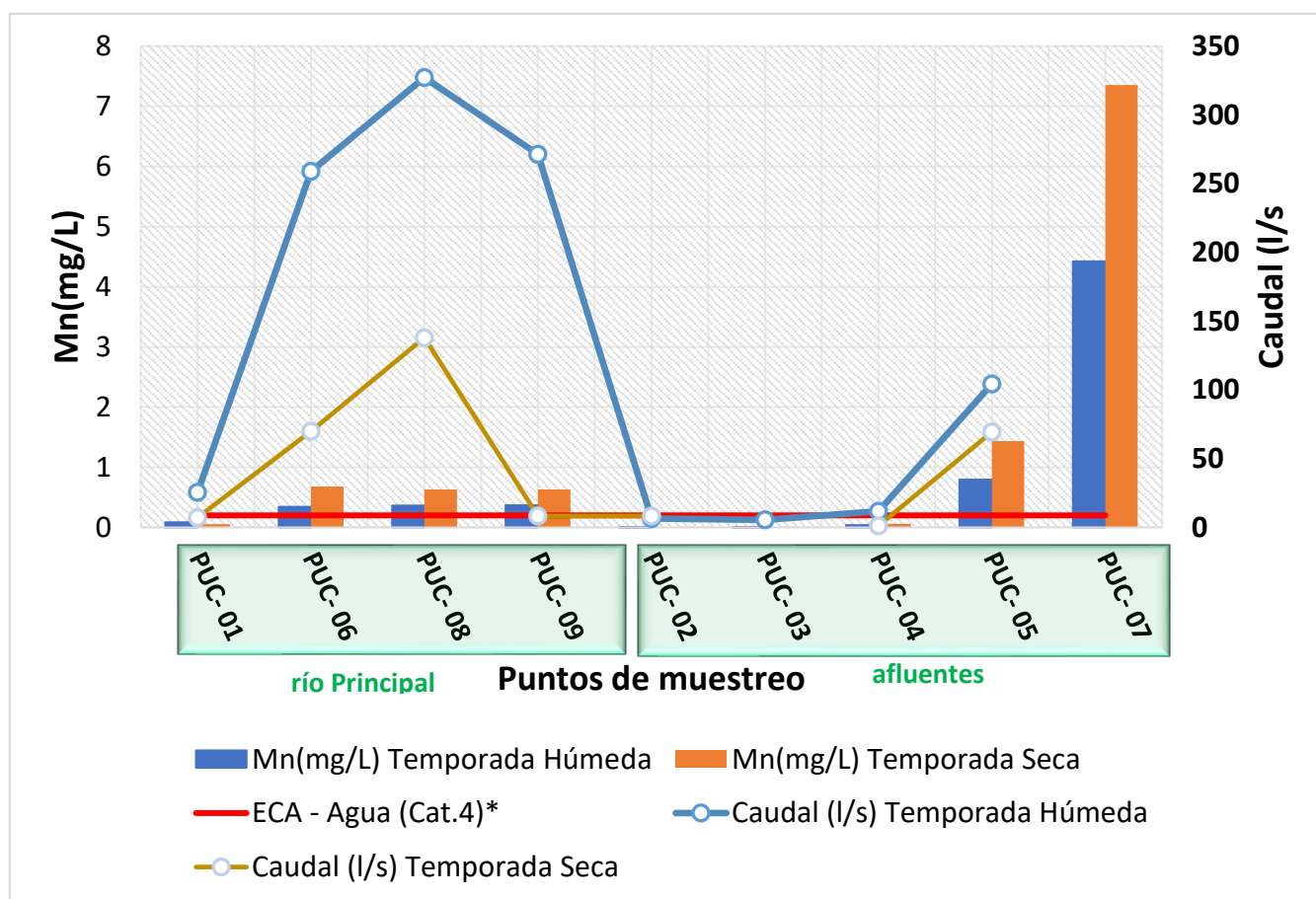


Figura 16. Comportamiento del Mn durante el 2022 vs caudal

En la figura 16, se observa el comportamiento de la concentración del manganeso en temporada húmeda y seca en los nueve puntos de evaluación. En temporada húmeda los puntos que superan el valor establecido (0.2 mg/L) para el ECA del agua (Cat. 4) son los puntos 05, 06, 07, 08 y 09 con valores de 0.79187, 0.34462, 4.42372, 0.36477 y 0.36991 mg/L respectivamente, siendo el punto 07 el que presenta la más alta concentración y supera en 22.1 veces el valor establecido por el ECA para el agua. En temporada seca los puntos que superan el ECA son 05, 06, 07, 08 y 09, presentando concentraciones de 1.43318, 0.67805, 7.35131, 0.6314 y 0.63031 mg/L respectivamente, siendo el punto 07 el que presenta la mayor concentración y supera en aproximadamente 36.7 veces el valor establecido por el ECA para el agua. De los resultados se observa que el punto 07 registra la más alta concentración de manganeso en las evaluaciones en temporada húmeda y seca durante el año 2022. Se observa también que en la mayoría de los puntos (05, 06, 07, 08 y 09) la concentración de manganeso aumenta en temporada seca, es decir cuando el caudal del agua disminuye.

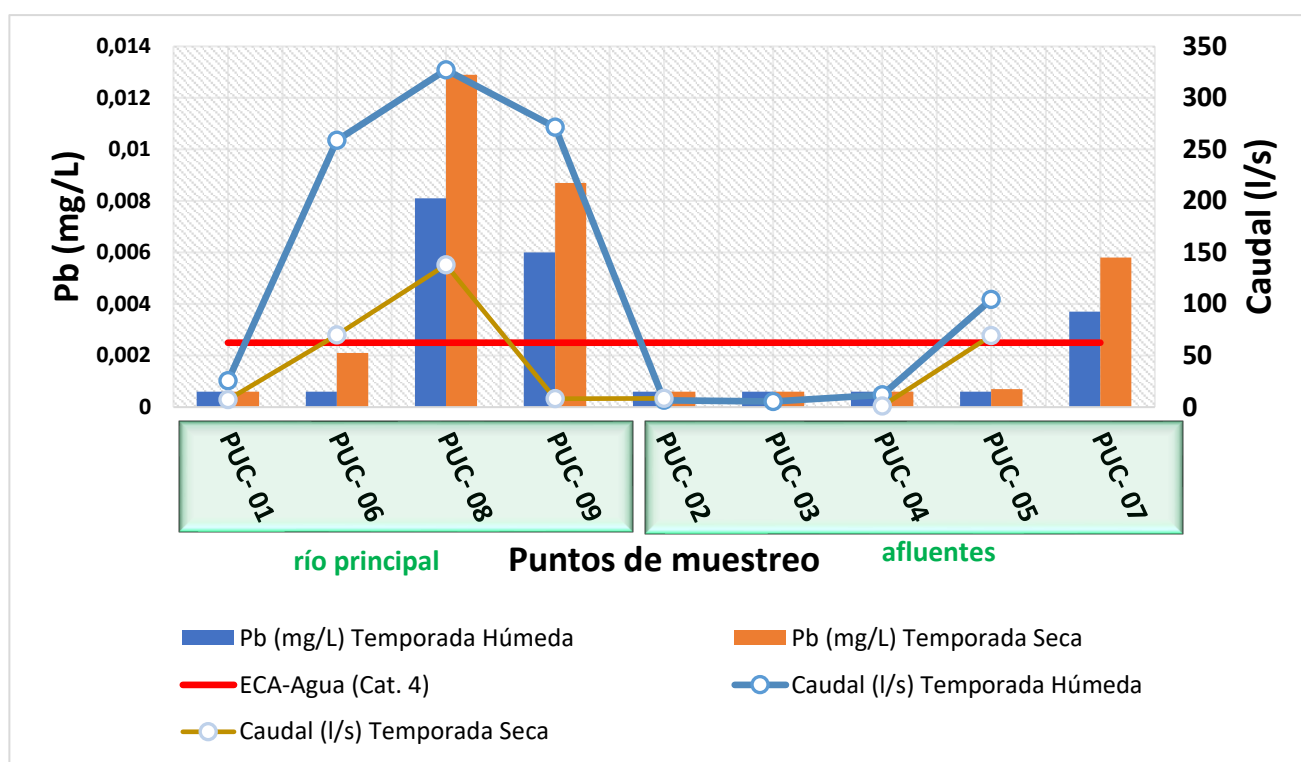


Figura 17. Comportamiento del Pb durante el 2022 vs caudal.

En la figura 17, se observa el comportamiento de la concentración del plomo en temporada húmeda y seca en los nueve puntos de evaluación. En temporada húmeda los puntos que superan el valor establecido (0.0025 mg/L) para el ECA del agua (Cat. 4), son el 07, 08 y 09 cuyas concentraciones son 0.0037, 0.0081 y 0.006 mg/L, respectivamente. En temporada seca se registraron los mismos puntos que superan la normativa con concentraciones de 0.0058, 0.0129 y 0.0087 mg/L respectivamente, registrándose la concentración más alta de la temporada húmeda en el punto 08, con una concentración de 0.0081 mg/L, siendo 3.24 veces mayor al valor máximo establecido (0.0025 mg/L), mientras que en la temporada seca se registró una concentración de 0.0129 mg/L, lo que representa 5.16 veces el valor máximo establecido. De los resultados se observa que el punto 08 registra la más alta concentración de plomo en las evaluaciones en temporada húmeda y seca durante el año 2022. Así mismo, se ve un incremento del valor de la concentración del plomo en la temporada seca, con la disminución del caudal, en los puntos 05, 06, 08 y 09.

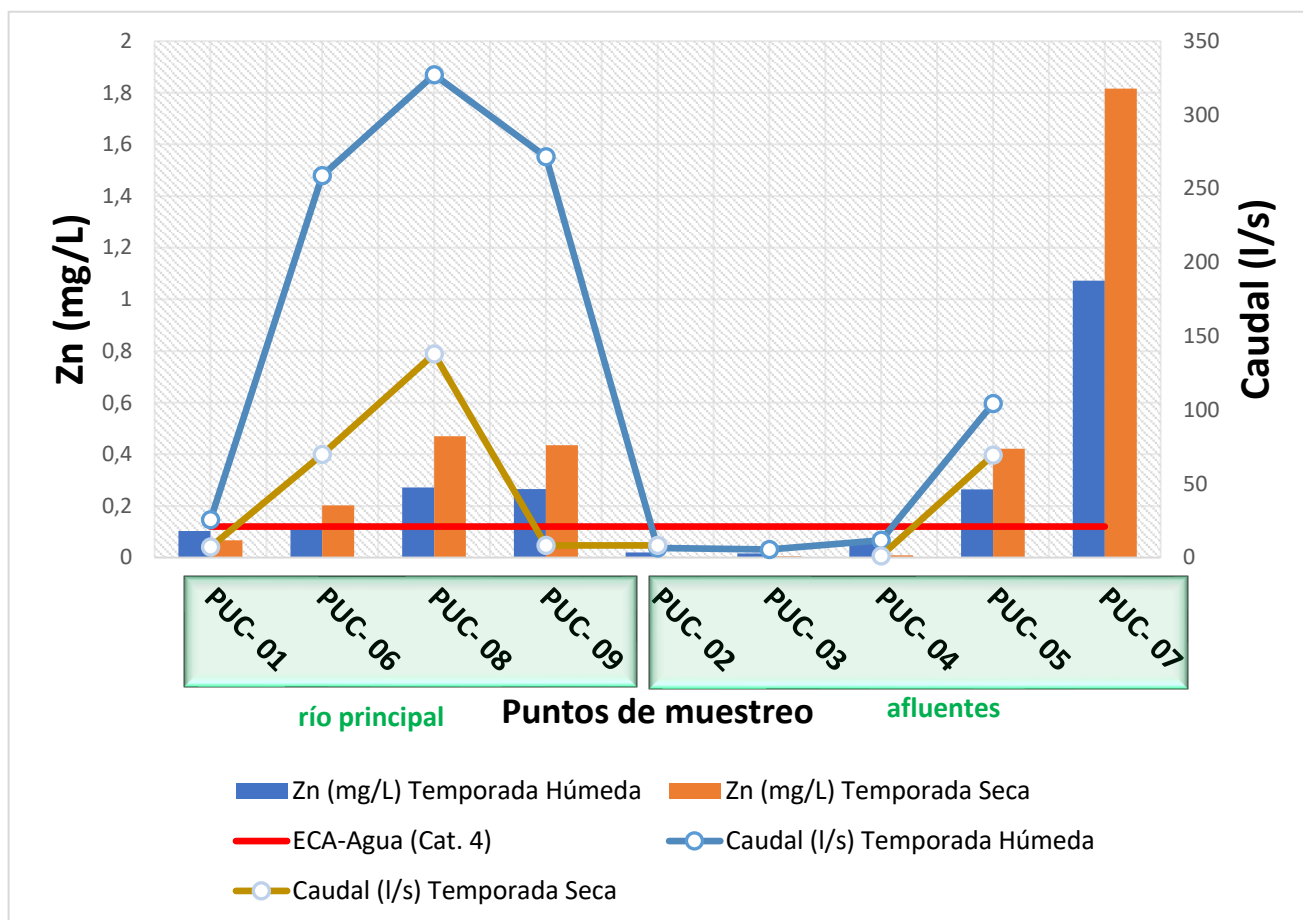


Figura 18 . Comportamiento del Zn durante el 2022 vs caudal.

En la figura 18, se observa el comportamiento del zinc en temporada húmeda y seca en los nueve puntos de evaluación. En temporada húmeda los puntos que superan el valor establecido (0.12 mg/L) del ECA para agua (Cat.4) corresponden a los puntos 05, 07, 08 y 09 registrando concentraciones de 0.2634, 1.0718, 0.2711 y 0.2652 mg/L respectivamente, la concentración máxima lo registra el punto 07 superando en 8.9 veces el valor del ECA. En temporada seca los puntos que superan el ECA son el 05, 06, 07, 08 y 09, registrándose concentraciones de 0.4212, 0.2023, 1.8159, 0.4694 y 0.4345 mg/L respectivamente, observándose también la concentración más alta en el punto 07 superando en 15.1 veces el valor establecido en el ECA. De los resultados se observa que el punto 07 registra la más alta concentración de zinc en las evaluaciones en temporada húmeda y seca durante el año 2022. Así mismo, se observa un incremento en la concentración de Zinc en la temporada seca, es decir cuando disminuye el caudal, con excepción de los puntos 01, 02, 03 y 04.

- **SUBCUENCA DEL RÍO NEGRO**

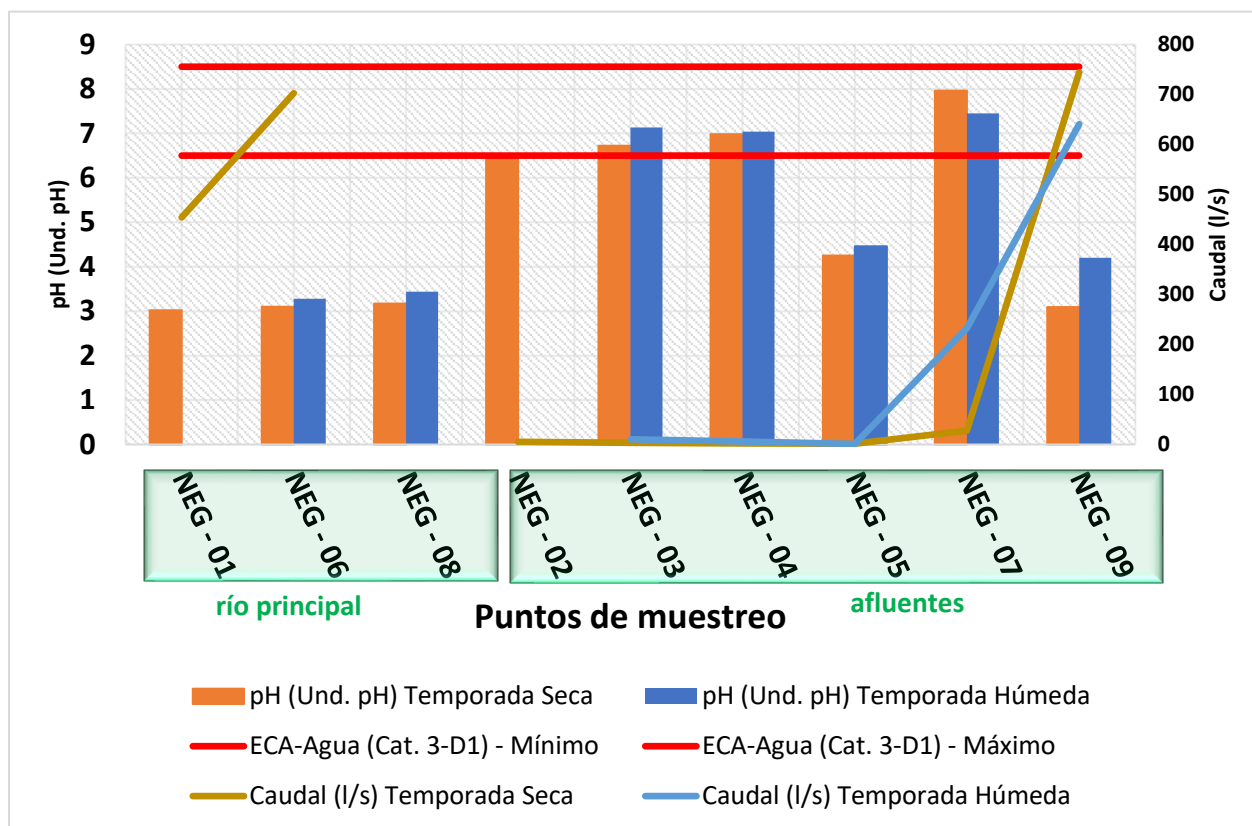


Figura 19. Comportamiento del pH durante el 2022 vs caudal.

En la figura 19, se observa el comportamiento del pH tanto en temporada húmeda y seca en los nueve puntos de evaluación. En la temporada húmeda los puntos que están por debajo el rango establecido (6.5 – 8.5) en el ECA para el agua (Cat. 3-D1) son los puntos 05, 06, 08 y 09, los cuales registran los valores de 4.46, 3.28, 3.44 y 4.2 respectivamente, de los cuales el valor más bajo corresponde al punto 06. En la temporada seca, los puntos que se encuentran fuera del rango establecido por el ECA son los mismos puntos que en la temporada húmeda siendo estos valores 3.02, 4.25, 3.1, 3.17 y 3.09 respectivamente, presentando el valor más bajo el punto 01. De los resultados se observa que los valores más bajos corresponden a los puntos 06 y 08, es decir estos puntos presentan los valores más ácidos en temporada húmeda y seca durante el año 2022. Además, se observa que se el valor del pH baja ligeramente, cuando el caudal disminuye, con excepción del punto 07.

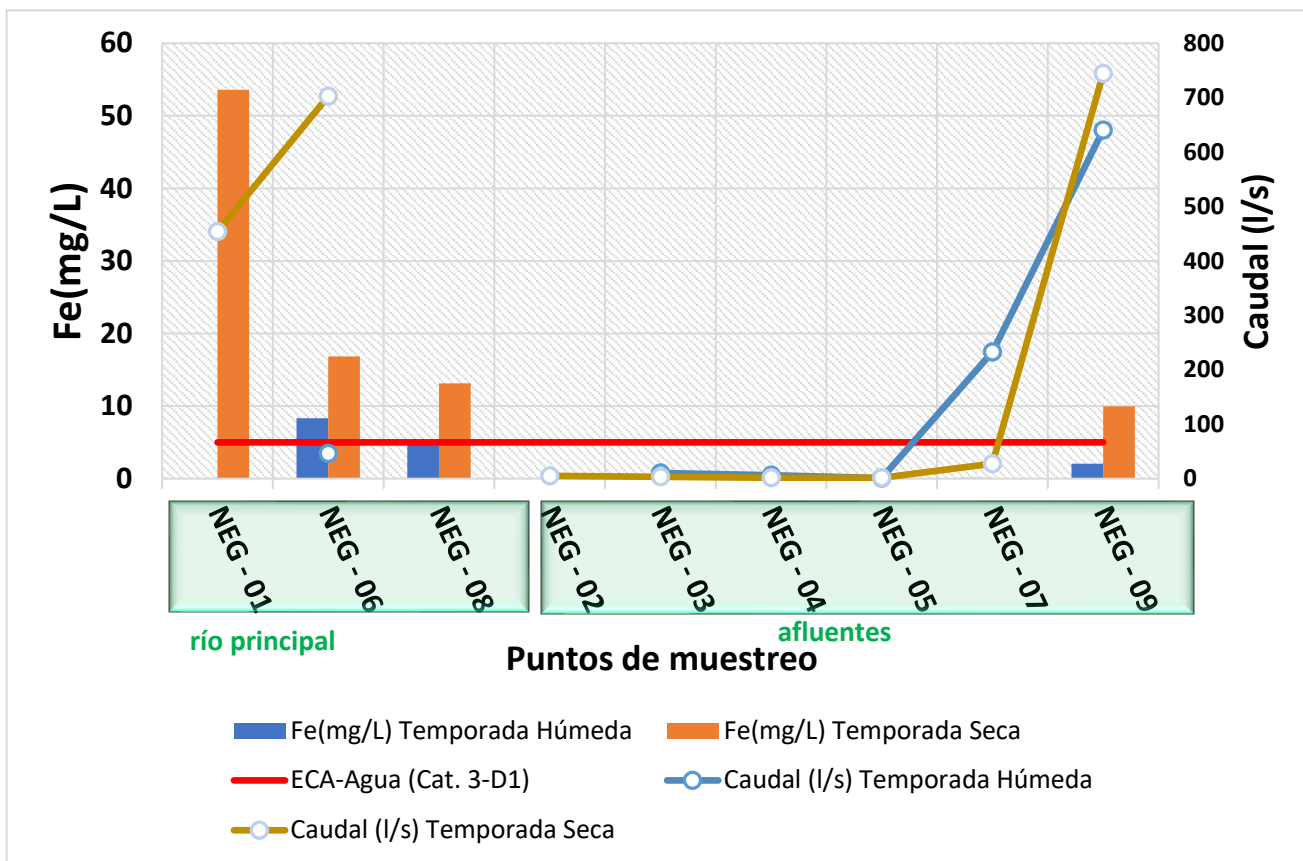


Figura 20. Comportamiento del Fe durante el 2022 vs caudal.

En la figura 20, se observa el comportamiento de la concentración del hierro en temporada húmeda y seca en los nueve puntos de evaluación. En la temporada húmeda el punto que superan el valor establecido (5 mg/L) para el ECA del agua (Cat. 3-D1), fue el punto 06 con una concentración de 8.3318 mg/L; mientras que en la temporada seca se registraron los puntos 01, 06, 08 y 09 con valores de 53.5961, 16.8592, 13.1482 y 9.9661 mg/L respectivamente. En temporada húmeda, el punto 06 registró la concentración más alta con 8.3318 mg/L, siendo 1.66 veces mayor al valor establecido (5 mg/L) en la norma, mientras que en temporada seca el punto 01 registró la concentración más alta, 53.5961 mg/L, siendo 10.7 veces mayor al valor establecido en la norma. De los resultados obtenidos se observa que el punto 06 registra la mayor concentración de hierro en temporada húmeda y seca durante el año 2022. Así mismo, se observa que la concentración de hierro aumenta en temporada seca, es decir cuando el caudal del agua disminuye, con excepción de los puntos 03, 04 y 05.

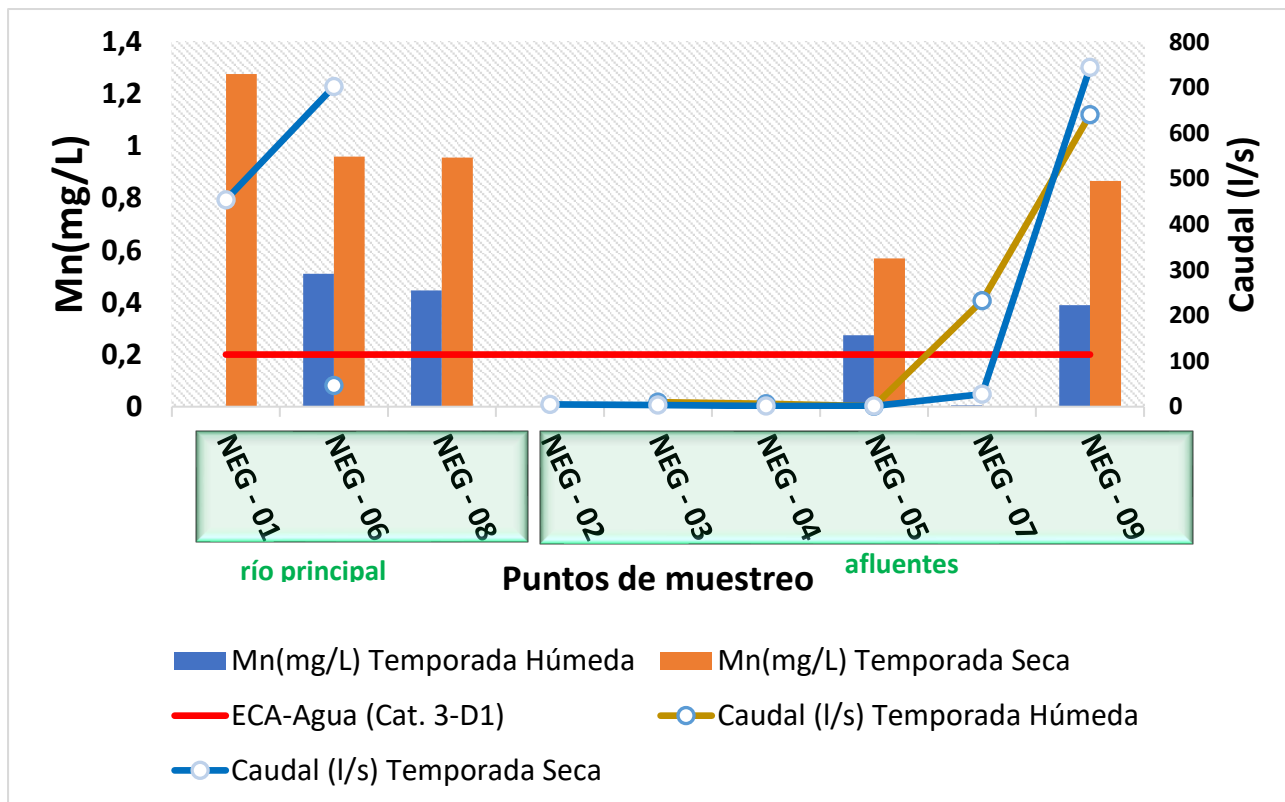


Figura 21. Comportamiento del Mn durante el 2022 vs caudal.

En la figura 21, se observa el comportamiento de la concentración del manganeso en temporada húmeda y seca en los nueve puntos de evaluación. En la temporada húmeda los puntos que superan el valor establecido (0.2 mg/L) para el ECA del agua (Cat. 3-D1) son los puntos 05, 06, 08 y 09 con valores de 0.2747, 0.50989, 0.44577 y 0.38906 mg/L, siendo el punto 06 el que registra la más alta concentración y supera en 2.55 veces el valor establecido en el ECA para el agua. En temporada seca también los puntos que superan el ECA son 01, 05, 06, 08 y 09 con valores de 1.27625, 0.56912, 0.95951, 0.95551 y 0.86606 mg/L respectivamente, siendo el punto 01 el que registra la más alta concentración y supera en 6.4 veces el valor establecido por el ECA para el agua. De los resultados obtenidos se evidencia que los puntos 01 y 06 son los que registran la más alta concentración de manganeso en temporada húmeda y seca durante el año 2022. Así mismo se observa que la concentración de manganeso aumenta en temporada seca, es decir cuando el caudal del agua disminuye, con excepción de los puntos 03, 04 y 07.

5.7. Mapas de resultados

En los siguientes mapas temáticos (tipo semáforo), se presentan los resultados comparados con el ECA para agua, para cada punto de evaluación y en cada zona de estudio. El color verde indica el cumplimiento del ECA, el color amarillo indica el incumplimiento en al menos un parámetro y finalmente el color rojo nos indica el incumplimiento de 2 a más parámetros medido o analizado.

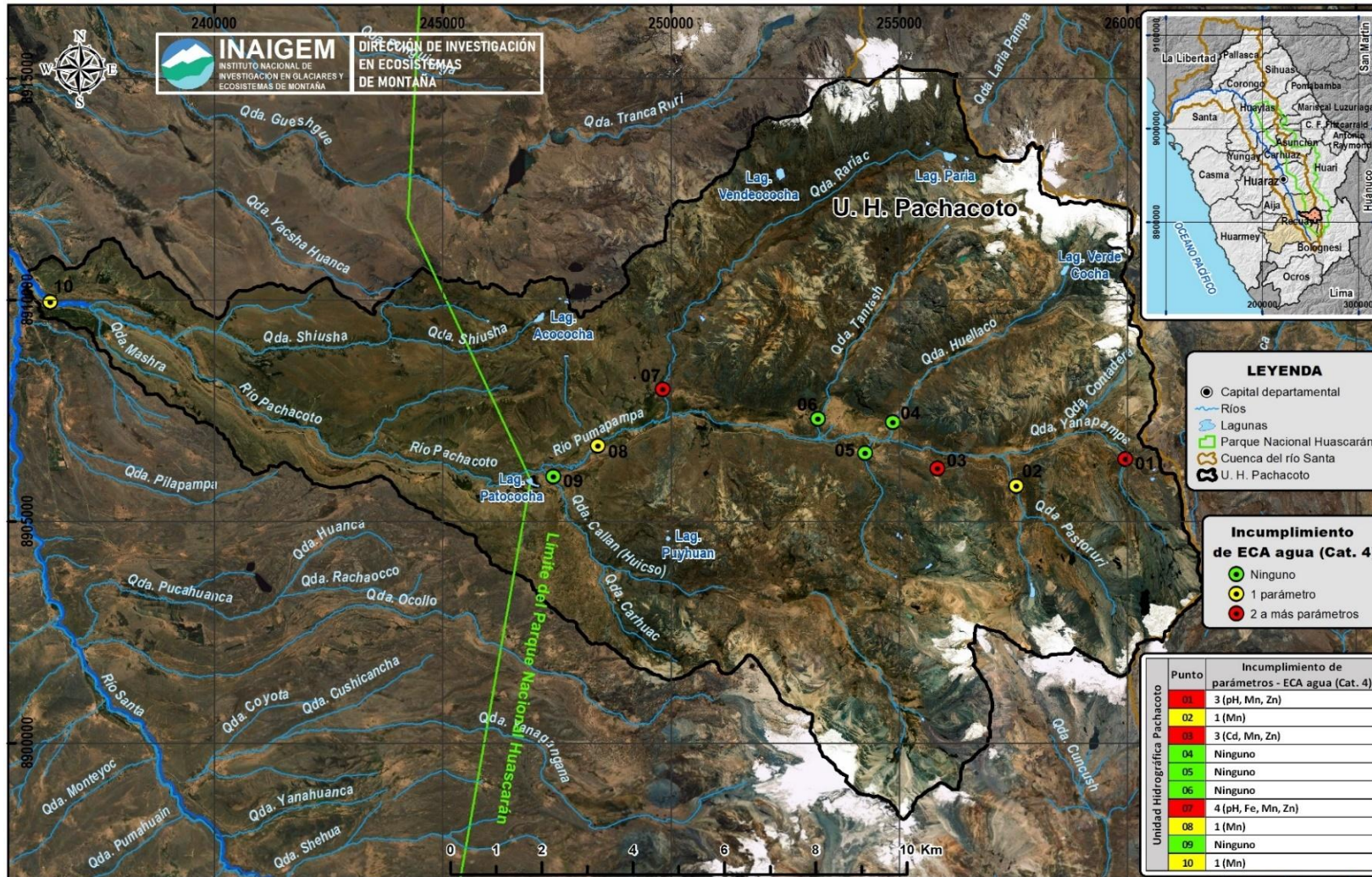
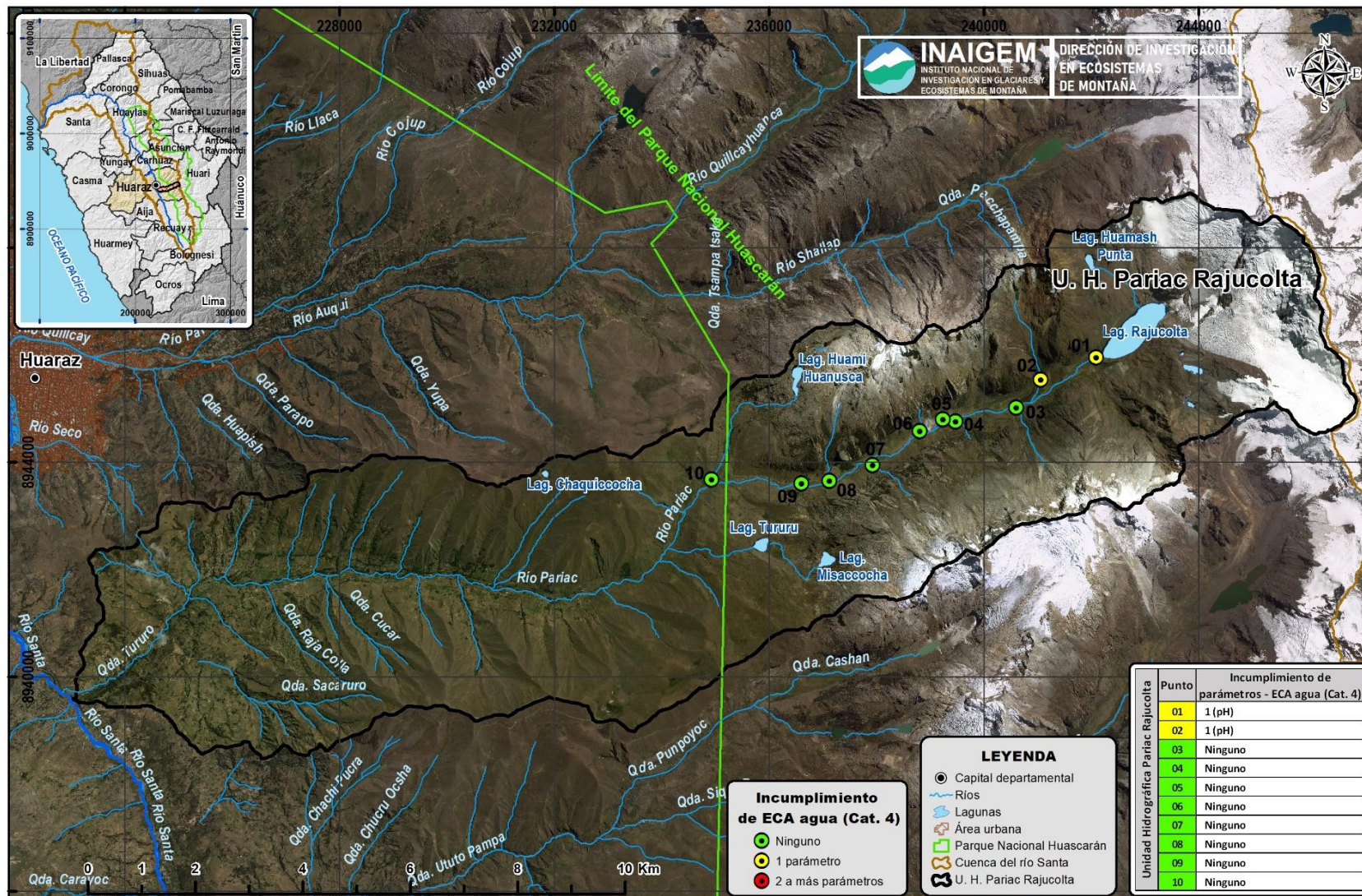


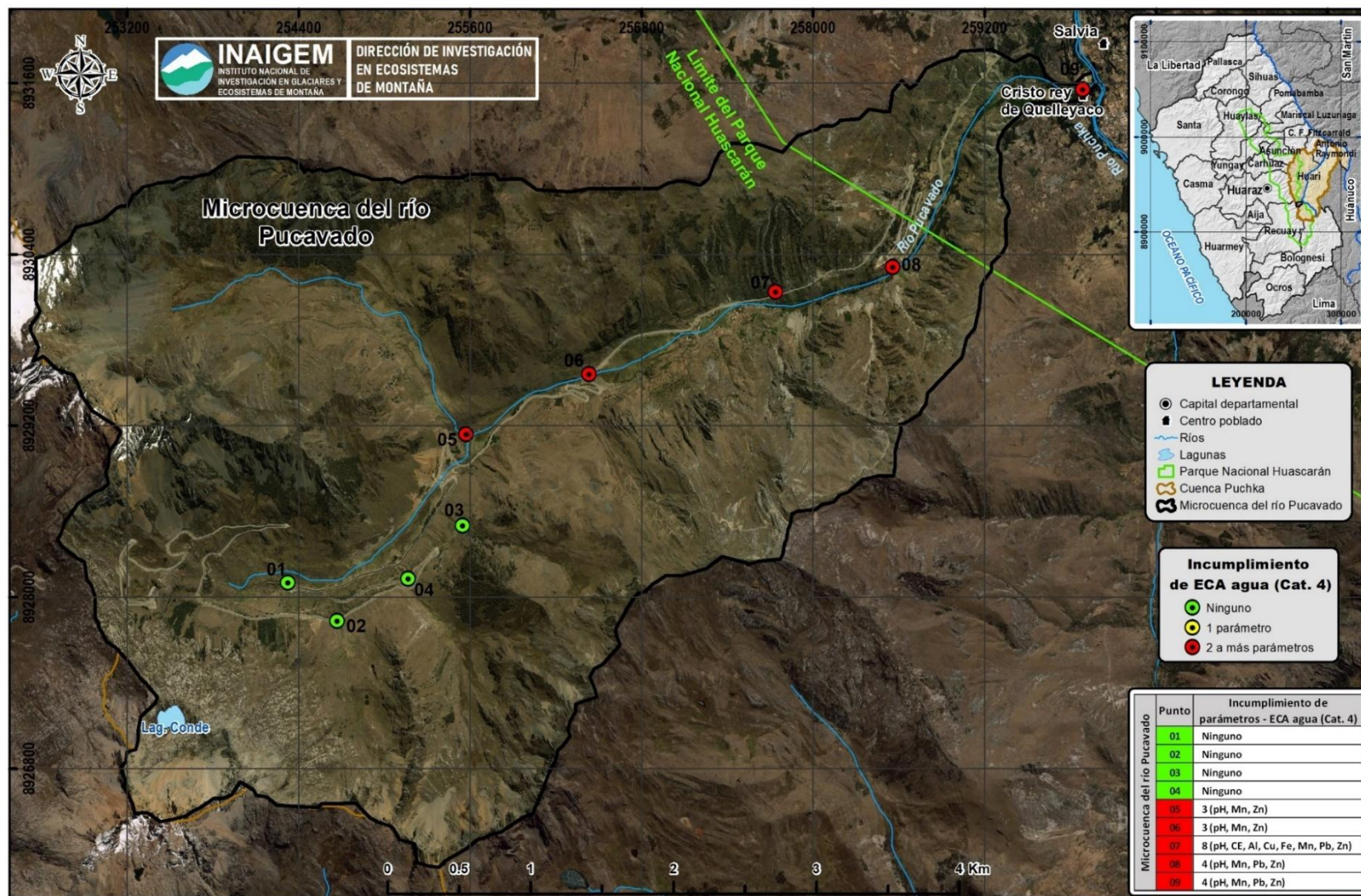
Figura 22. Mapa tipo semáforo de resultados comparados con el ECA para el agua (Cat. 4) de la UH Pachacoto.

En la figura 22, se observa que en la zona de estudio correspondiente a la UH Pachacoto, de los 10 puntos evaluados, 4 puntos de monitoreo (04, 05, 06 y 09) cumplen el ECA para agua (Cat. 4), 3 puntos de monitoreo (02, 08 y 10) superan la normativa en un parámetro y 3 puntos de monitoreo (01, 03 y 07) superan en más de 2 parámetros la normativa.



En la figura 23, se observa que, en la zona de estudio correspondiente a la UH Pariac-Rajucolta, de los 10 puntos de evaluación, 2 puntos de monitoreo (01 y 02) superan en un parámetro el ECA para el agua (Cat. 4) y 8 puntos de monitoreo (03, 04, 05, 06, 07, 08, 09 y 10) cumplen la normativa en los parámetros evaluados.

Figura 23. Mapa tipo semáforo de resultados comparados con el ECA para el agua (Cat. 4) de la UH Pariac-Rajucolta.



En la figura 24, la zona de estudio correspondiente a la Microcuenca del río Pucavado, se observa que, de los 09 puntos de evaluación, 4 puntos (01, 02, 03 y 04) cumplen con el ECA para el agua (Cat. 4) y 5 puntos (05, 06, 07, 08 y 09) superan en más de 2 parámetros la normativa.

Figura 24. Mapa tipo semáforo de resultados comparados con el ECA para el agua (Cat.4) de la microcuenca del río Pucavado

VI. CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos en la UH Pachacoto durante la evaluación del año 2022, evidencian que, de los diez puntos monitoreados, dos de ellos (01 y 07) presentan pH bajos (aguas ácidas). Estos mismos puntos de monitoreo registran concentraciones superiores a lo establecido en el ECA-agua (Cat. 4), principalmente en los parámetros de manganeso, zinc y hierro (punto 07). Estos resultados registran el impacto al ecosistema acuático debido al DAR, además el punto 01 se encuentra más cercano al nevado Pastoruri, es decir a una zona donde se presume la generación de aguas ácidas. También se han registrado altas concentraciones de manganeso en 6 puntos (01, 02, 03, 07, 08, 10) y se tiene casos puntuales de altas concentraciones de cadmio, hierro, manganeso, plomo y zinc. El punto de monitoreo 03 no presenta aguas ácidas, sin embargo, se conoce que antiguamente cercano a este punto hubo actividad minera. También es importante señalar que, en la mayoría de los puntos evaluados, las concentraciones de los metales y la acidez del agua es mayor en temporada seca, es decir, cuando el caudal del agua disminuye. Además, solo los puntos 04, 05 y 06 cumplen con la normativa comparada en relación al ECA para agua (Cat. 4) y el Decreto Supremo N°24.176 – Clase “A”- Bolivia (para fosfato).
- Los resultados obtenidos en la UH Pariac-Rajucolta, evidencian que, de los diez puntos monitoreados, dos puntos (01, 02) registran pH bajos, es decir presentan aguas ácidas en las dos temporadas del año evaluados (húmeda y seca), pero no se registran altas concentraciones de ningún metal. Además, es preciso resaltar que el punto 01 es la descarga de la laguna Tambillo y no se evidencia actividad antropogénica que pueda influir en la acidez del agua. Los demás parámetros evaluados en los otros ocho puntos, cumplen con el ECA para agua (Cat. 4) y el Decreto Supremo N°24.176 – Clase “A”- Bolivia (para fosfato), para la temporada húmeda y seca, durante el año 2022. También es importante señalar que se evidencia en varios puntos que la acidez del agua es mayor en temporada seca, cuando el caudal del agua disminuye.
- Los resultados en la microcuenca del río Pucavado, indican que de los nueve puntos monitoreados, cinco puntos (05, 06, 07, 08, 09) registran pH bajos, es decir presentan aguas ácidas en las dos temporadas del año (húmeda y seca), tres puntos corresponden al río principal y dos puntos son afluentes al río principal. Además esos mismos cinco puntos superan el valor referencial del ECA para agua (Cat. 3-D1) para el manganeso, tres puntos superan la normativa para el plomo (07, 08, 09), cinco puntos para zinc (05, 07, 08, 09, el punto 06 solo en temporada seca) y se tiene un caso puntual que presenta también altas concentraciones de aluminio, cadmio (temporada seca), cobre, hierro y conductividad eléctrica; sin embargo, este punto es un socavón de carbón mineral abandonado (punto 07).

También es importante señalar que en la mayoría de los puntos evaluados la acidez del agua y las concentraciones los metales mencionados, se incrementan con la disminución del caudal del agua en temporada seca.

- En cuanto a los resultados obtenidos en la subcuenca río Negro, se encontró que de los nueve puntos monitoreados, cinco puntos (01, 05, 06, 08, 09) registran pH bajos (aguas ácidas) en temporada húmeda y seca, tres puntos corresponden al río principal y dos puntos son afluentes al río principal. Además, esos mismos cinco puntos superan el valor referencial del ECA para agua (Cat. 3-D1) para el manganeso, un punto (01, temporada seca) supera la normativa para el aluminio, y cuatro puntos para hierro (06, los puntos 01, 08, 09 solo en temporada seca). Cabe resaltar que en la mayoría de los puntos evaluados la acidez del agua y las concentraciones de los metales mencionados, se incrementan con la disminución del caudal del agua en temporada seca. En el área de estudio no se conoce que exista actividad antropogénica que pueda influir en la acidez del agua y las altas concentraciones de los metales mencionados, por lo que se estaría ocurriendo procesos de generación y afectación de DAR en estos cuerpos de agua, los cuales son de interés y perjudiciales para la población.
- Los nuevos parámetros evaluados (fosfato, sulfuro y nitrato) fueron comparados con el ECA para el agua (Cat. 4) y para el fosfato comparado con el D.S. N° 24.176. Reglamentación de la Ley del Medio Ambiente. Reglamentación en materia de contaminación hídrica, establecida en la Clase "A". Aguas naturales de máxima calidad (Bolivia), donde se obtuvo que ningún punto de evaluación superó lo establecido en las normativas, tanto en la temporada húmeda y seca.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdel-Meguid, N., Kheirallah, A. M., Abu-Shaban, K., & Abdel-Moneim. (2002). Histochemical and Biochemical Changes in Liver of *Tilapia zillii* G. as a Consequence of Water Pollution. *Journal of Biological Sciences*, 2(4), 224–229. <https://doi.org/10.3923/jbs.2002.224.229>
- Egiebor, N. O., & Oni, B. (2007). Acid rock drainage formation and treatment: a review. *Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering*, 17, 47–62. <https://doi.org/10.3923/jbs.2002.224.229>
- Jacobs, J., Lehr, J., & Testa, S. (2014). *Acid Mine Drainage, Rock Drainage, and Acid Sulfate Soils: Causes, Assessment, Prediction, Prevention, and Remediation*. Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781118749197>
- Loayza-Muro, R., Duivenvoorden, J., Kraak, M., & Admiraal, W. (2014). La lixiviación de metales, la acidez y la altitud limitan la composición de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en los arroyos andinos. *Toxicología ambiental y química*, 33(2), 404-411. <https://doi.org/10.1002/etc.2436>
- Santofimia, E., López Pamo, E., Palomino, E. J., González-Toril, E., & Aguilera, Á. (2017). Acid rock drainage in Nevado Pastoruri glacier area (Huascarán National Park, Perú): hydrochemical and mineralogical characterization and associated environmental implications. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(32), 25243-25259. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0093-0>
- Rose, J., Hutcheson, M. S., West, C. R., Pancorbo, O., Hulme, K., Cooperman, A., Decesare, G., Isaac, R., & Screpetis, A. (1999). Fish mercury distribution in Massachusetts, USA lakes. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, 18(7), 1370–1379. . <https://doi.org/10.1002/etc.5620180705>

VIII. ANEXOS

8.1. Perfil de caudal en las cuatro zonas de estudio

8.1.1. UH Pachacoto

Se presenta el perfil de los 09 puntos de muestreo, con datos obtenidos del correntómetro, tanto para la temporada húmeda y la temporada seca en el año 2022.

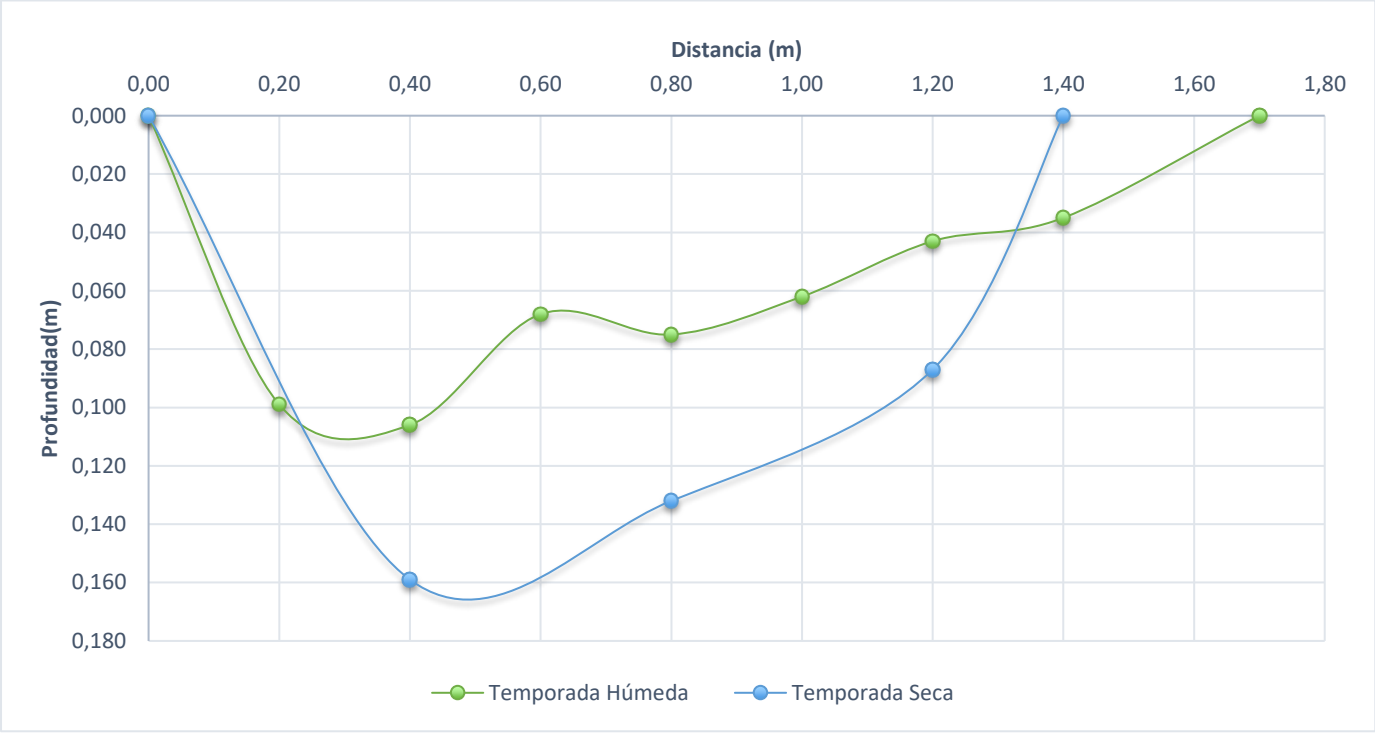


Figura 26. Perfil del punto PACH-AG-01, con un margen de inicio derecho.

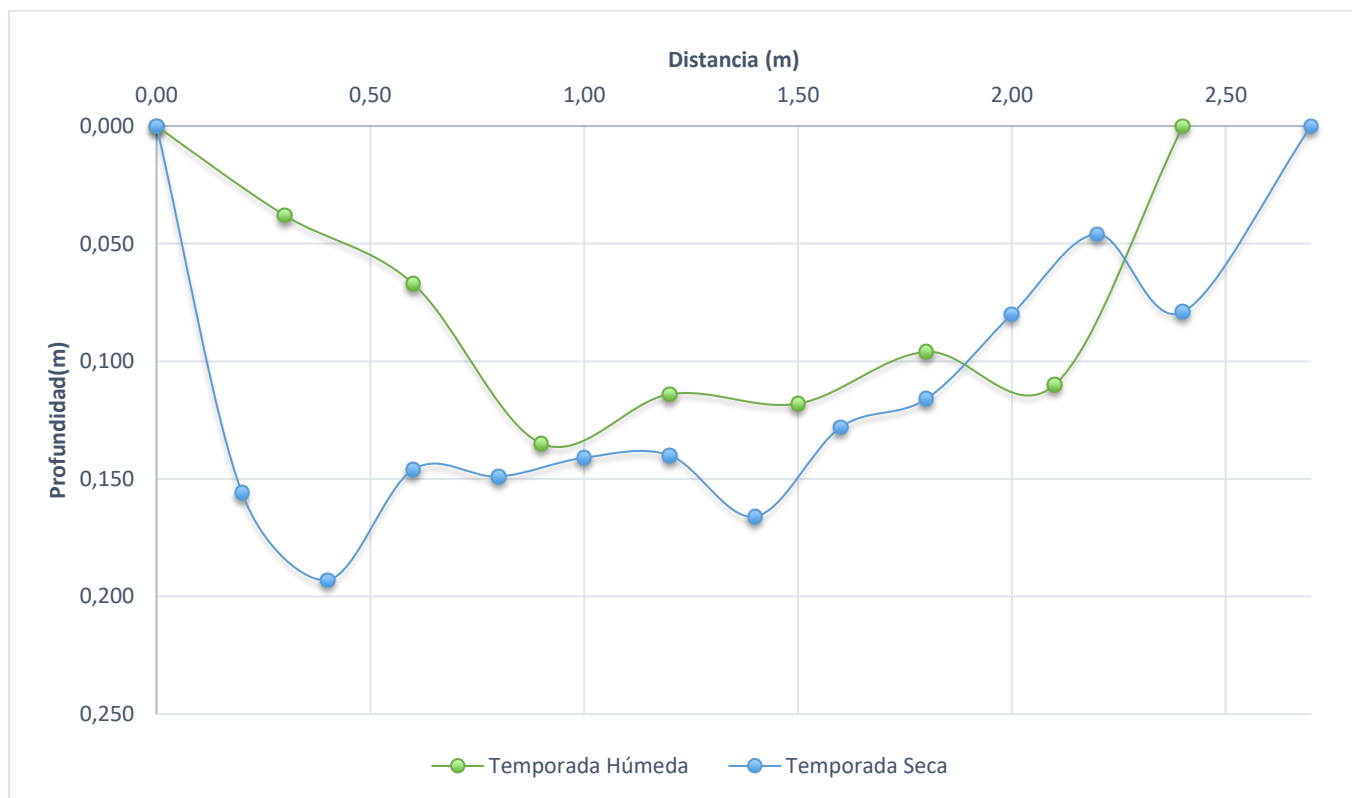


Figura 27. Perfil del punto PACH-AG-02, con un margen de inicio derecho.

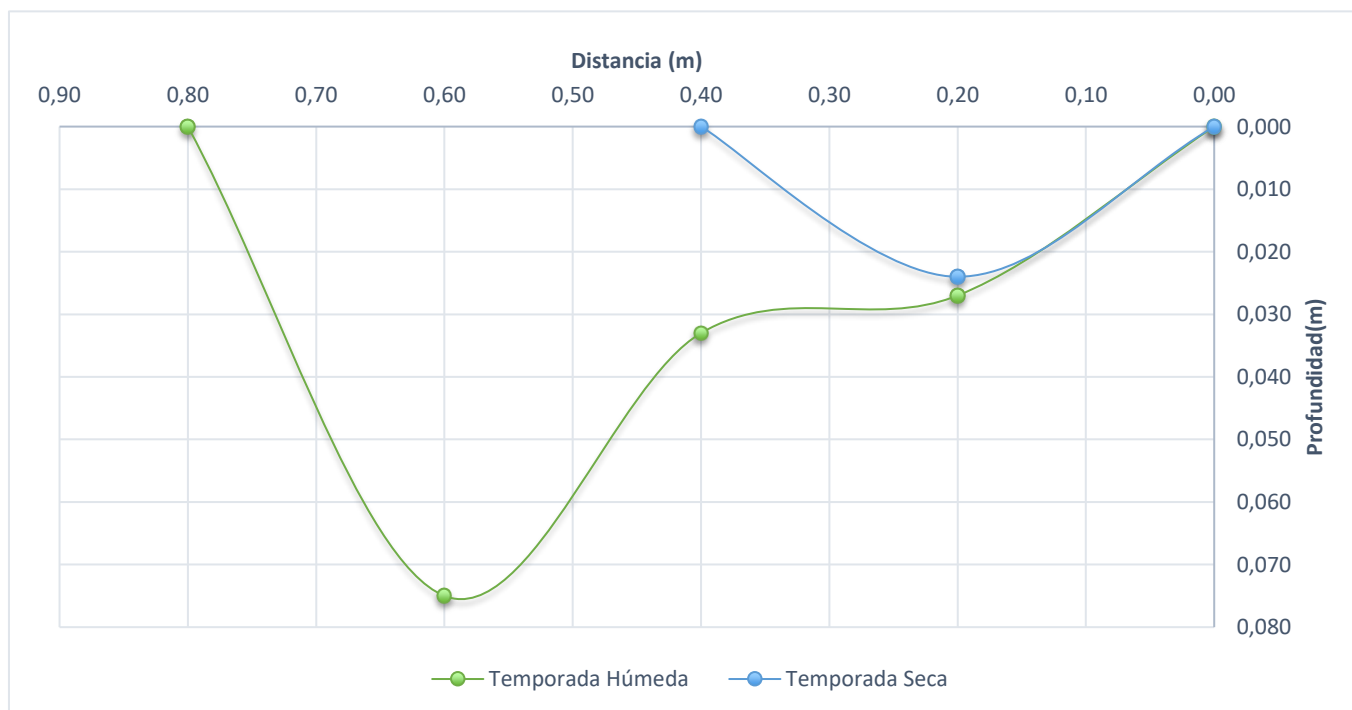


Figura 28. Perfil del punto PACH-AG-03, con un margen de inicio izquierdo.

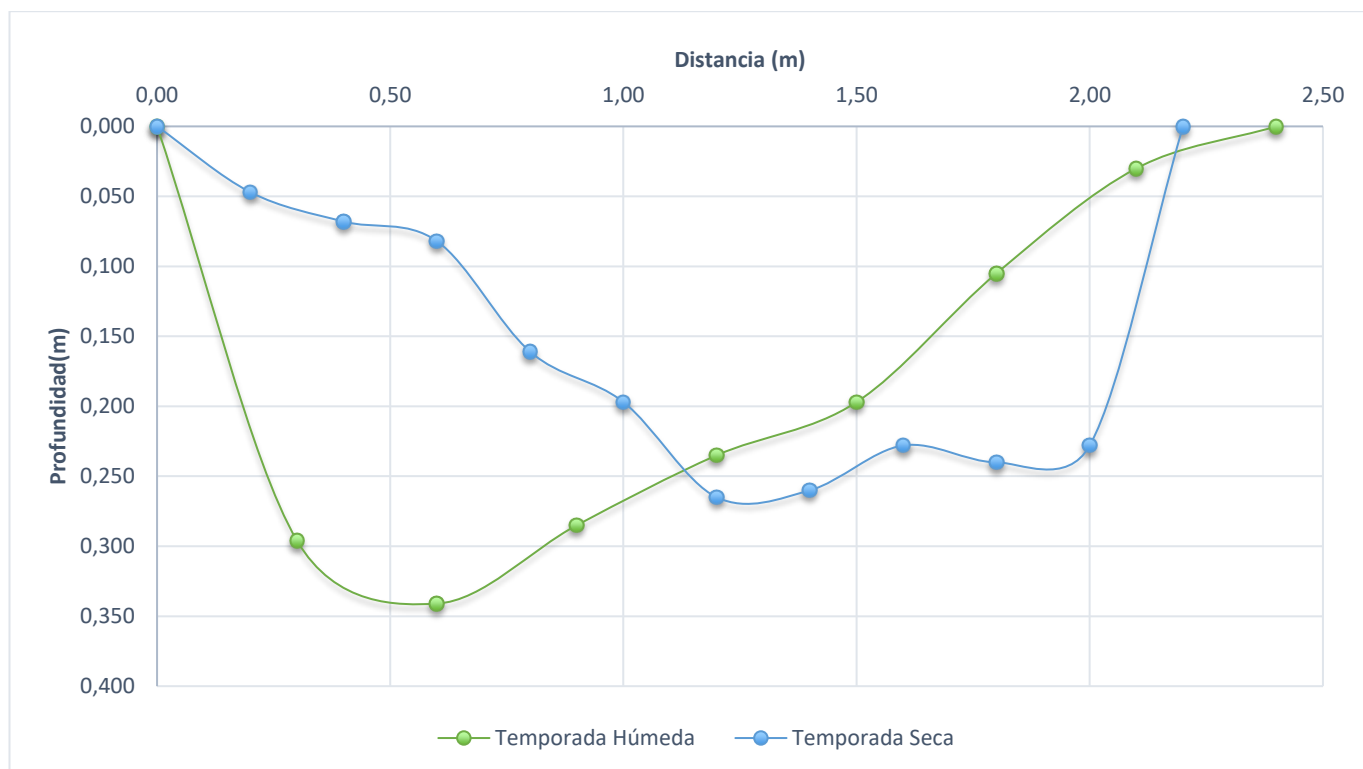


Figura 29. Perfil del punto PACH-AG-04, con un margen de inicio derecho.

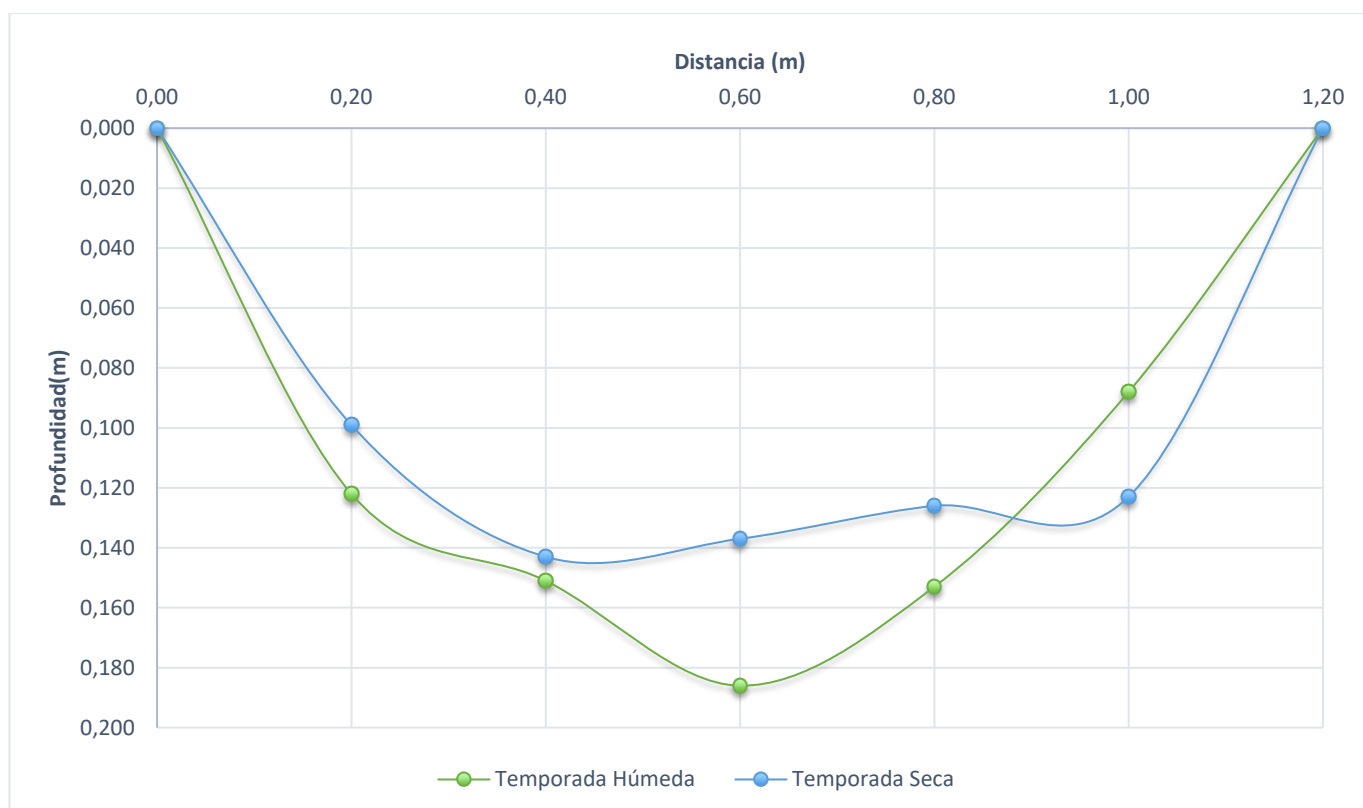


Figura 30. Perfil del punto PACH-AG-05, con un margen de inicio derecho.

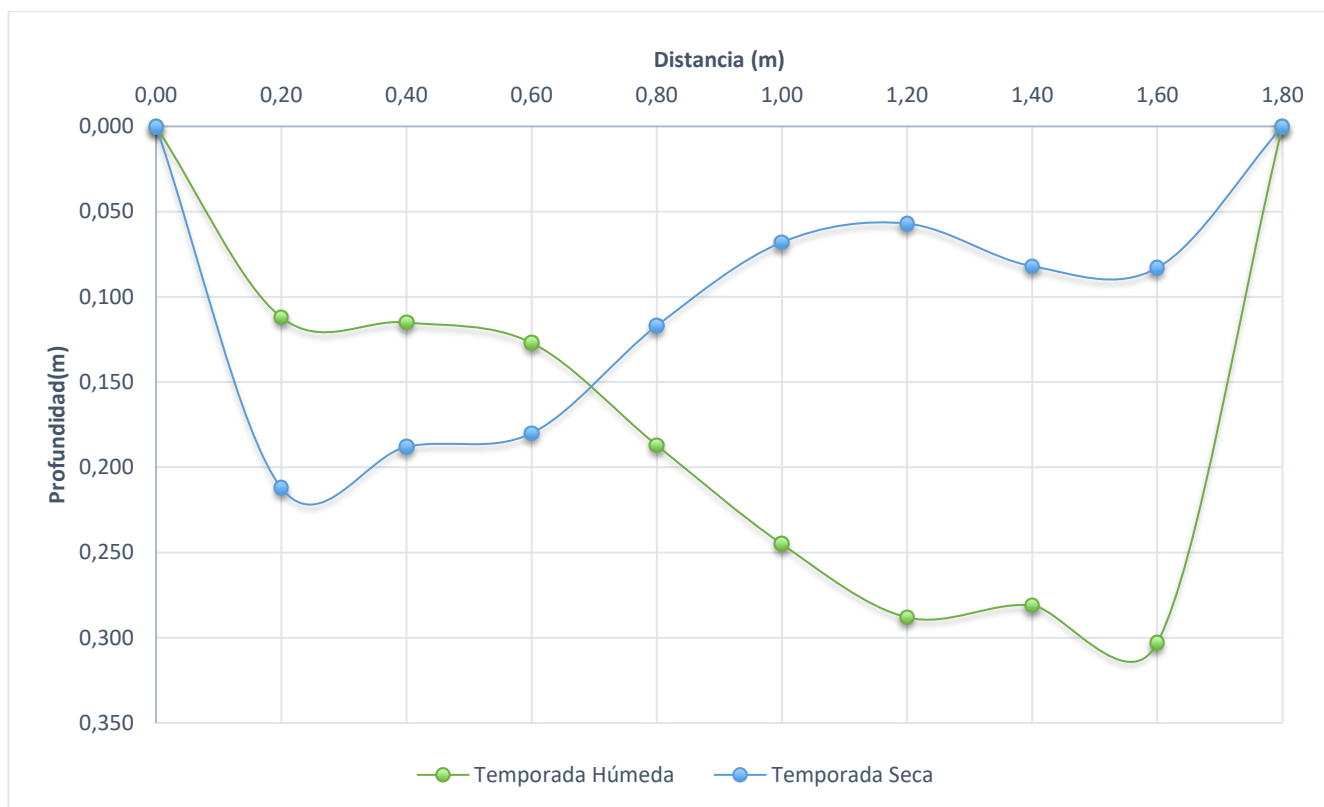


Figura 31. Perfil del punto PACH-AG-06, con un margen de inicio derecho.

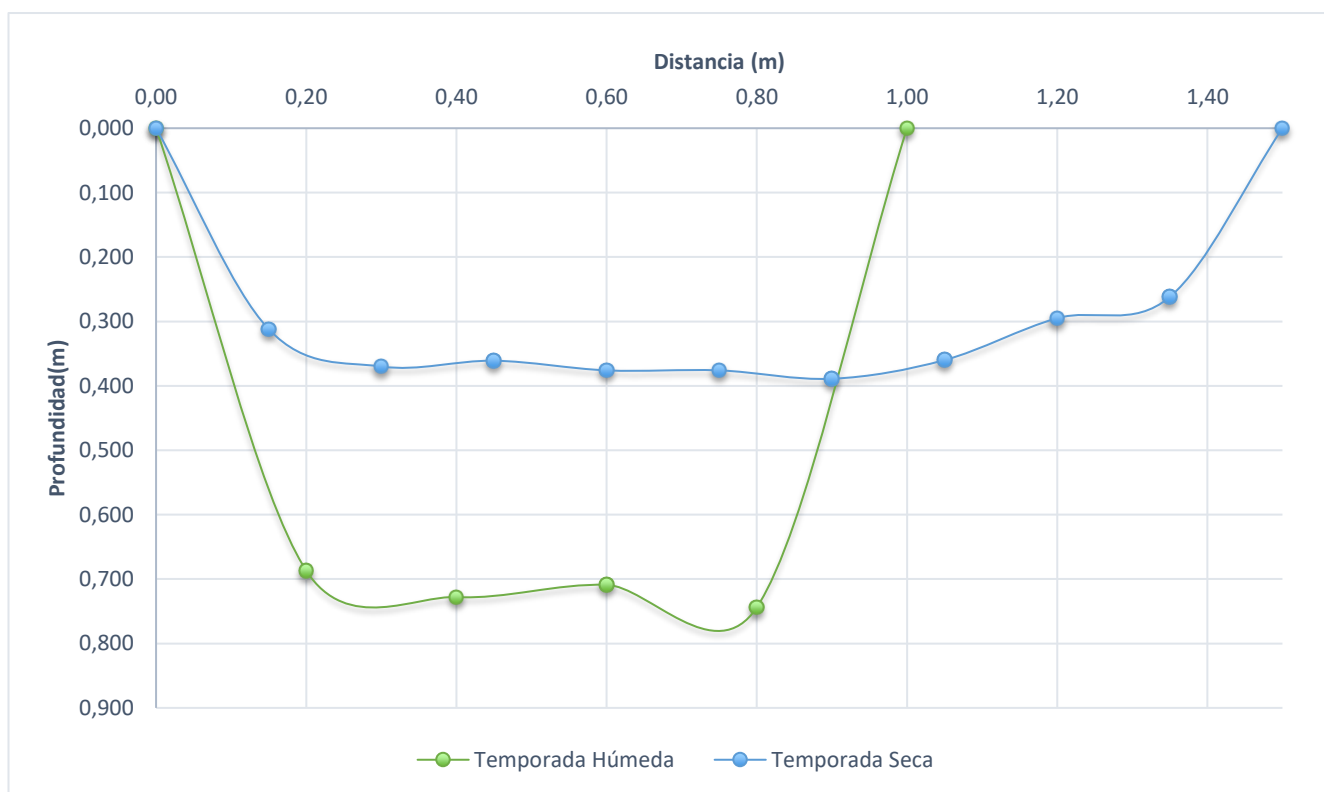


Figura 32. Perfil del punto PACH-AG-07, con un margen de inicio derecho.

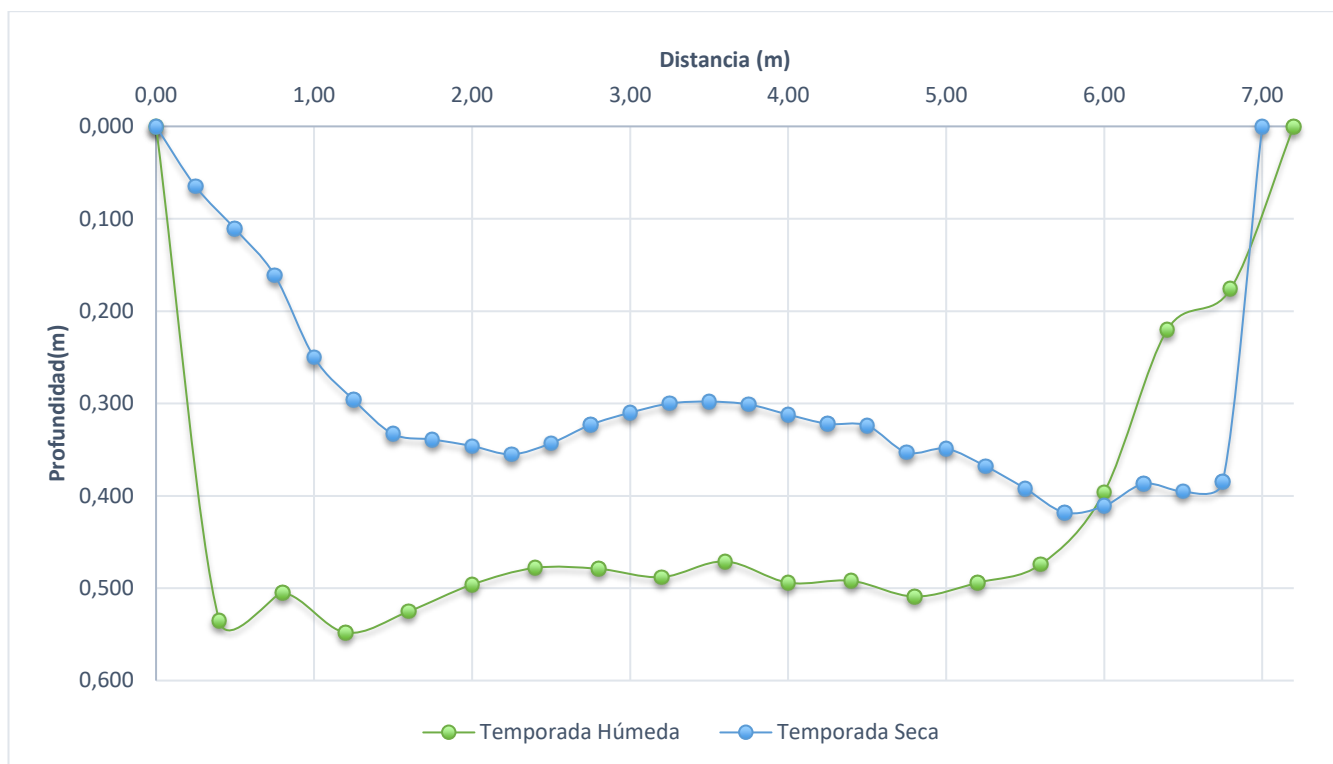


Figura 33. Perfil del punto PACH-AG-08, con un margen de inicio derecho.

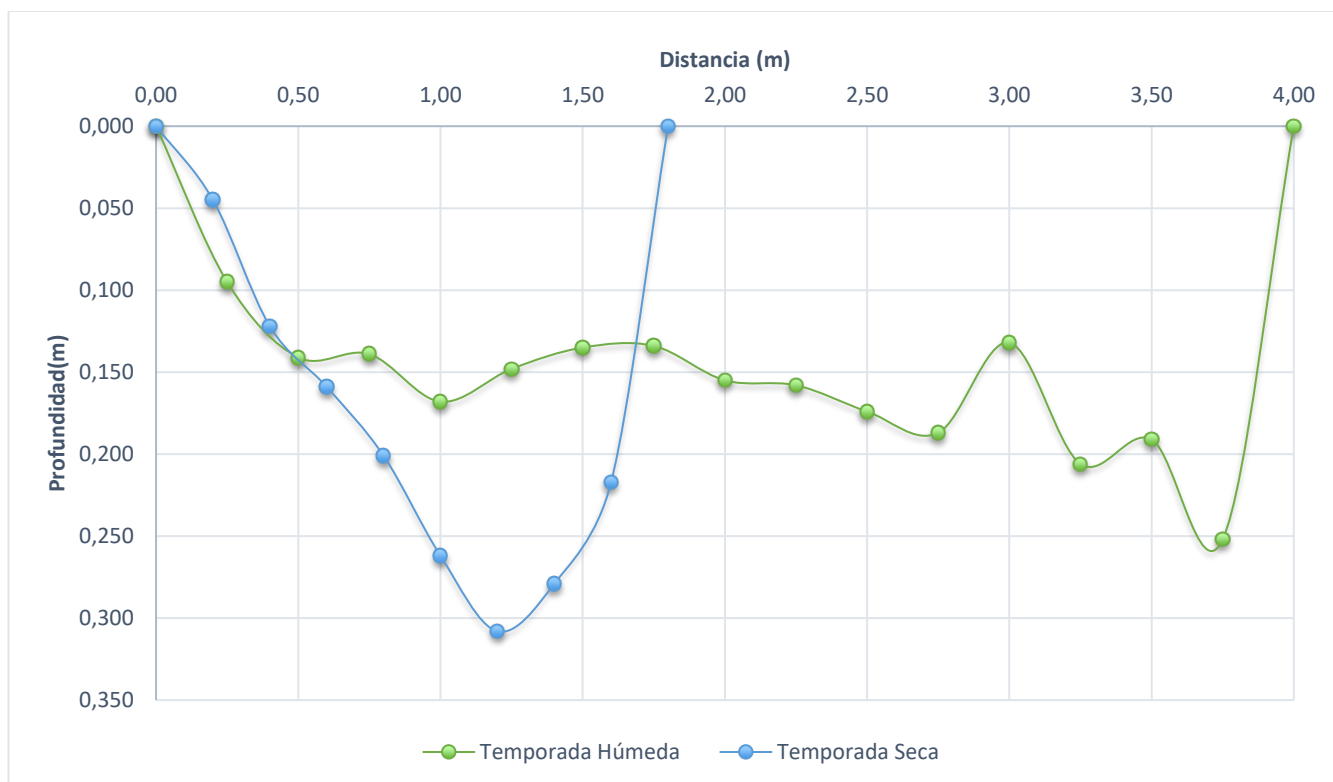


Figura 34. Perfil del punto PACH-AG-09, con un margen de inicio derecho.

8.1.2. UH Pariac - Rajucolta

Se presenta el perfil de 10 puntos de muestreo, con datos obtenidos del correntómetro, tanto para la temporada húmeda y la temporada seca en el año 2022.

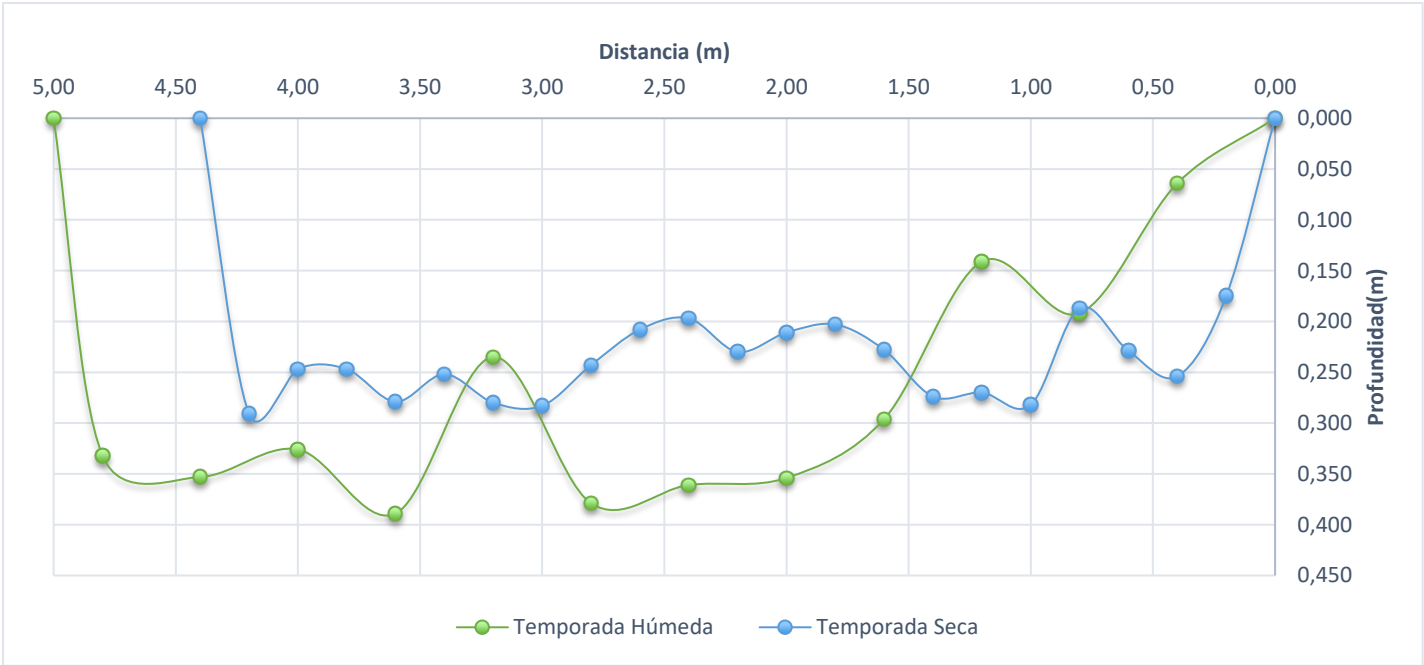


Figura 35. Perfil del punto RJC-AG-01, con un margen de inicio izquierdo.

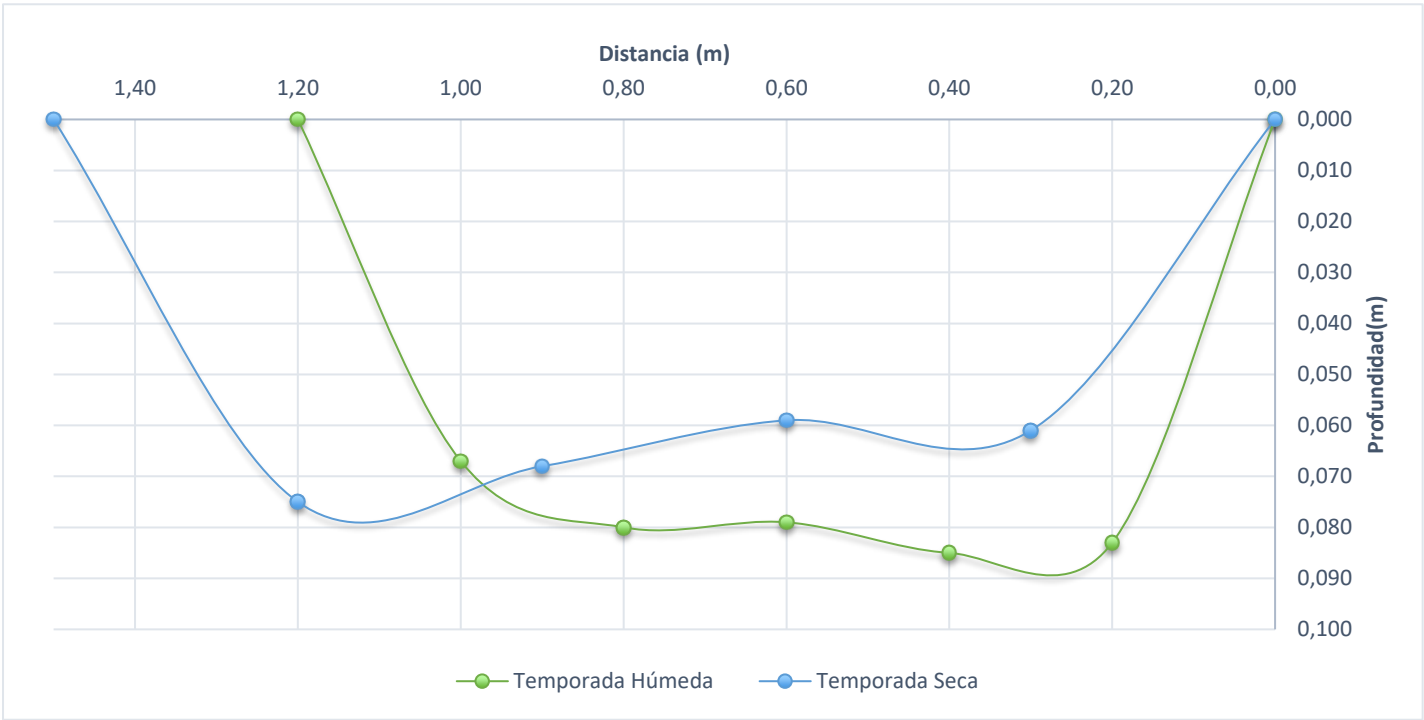


Figura 36. Perfil del punto RJC-AG-02, con un margen de inicio izquierdo.

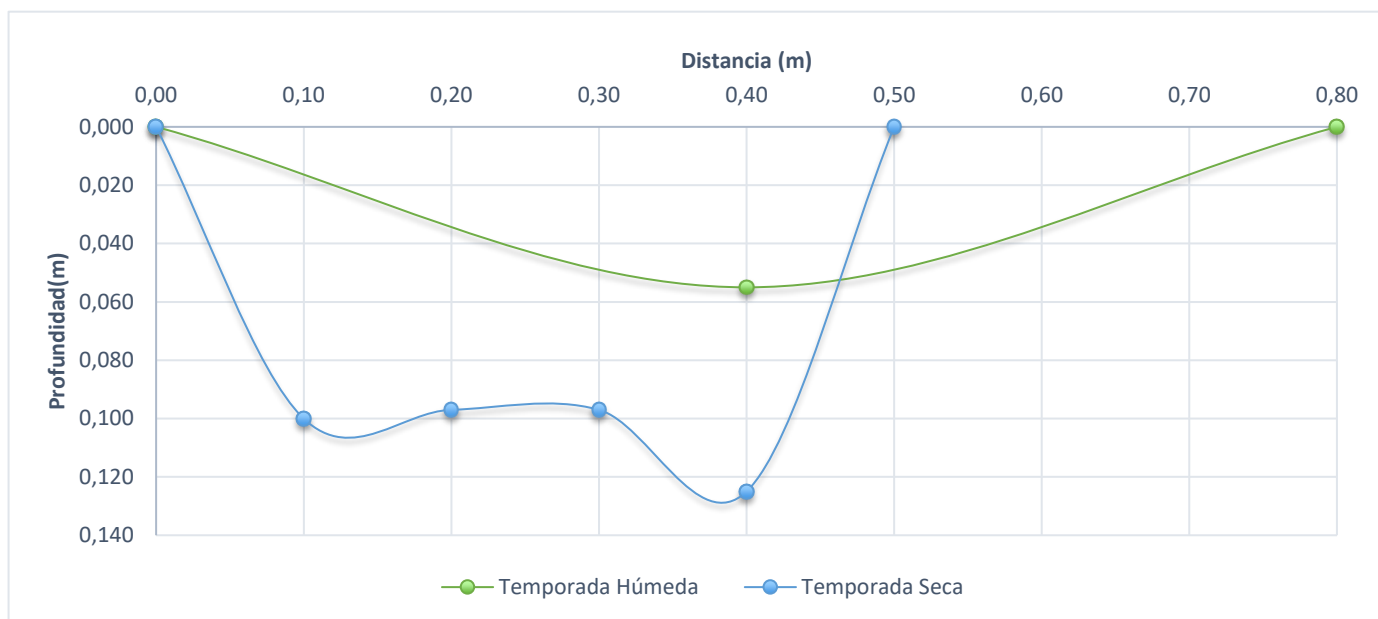


Figura 37. Perfil del punto RJC-AG-03, con un margen de inicio derecho.

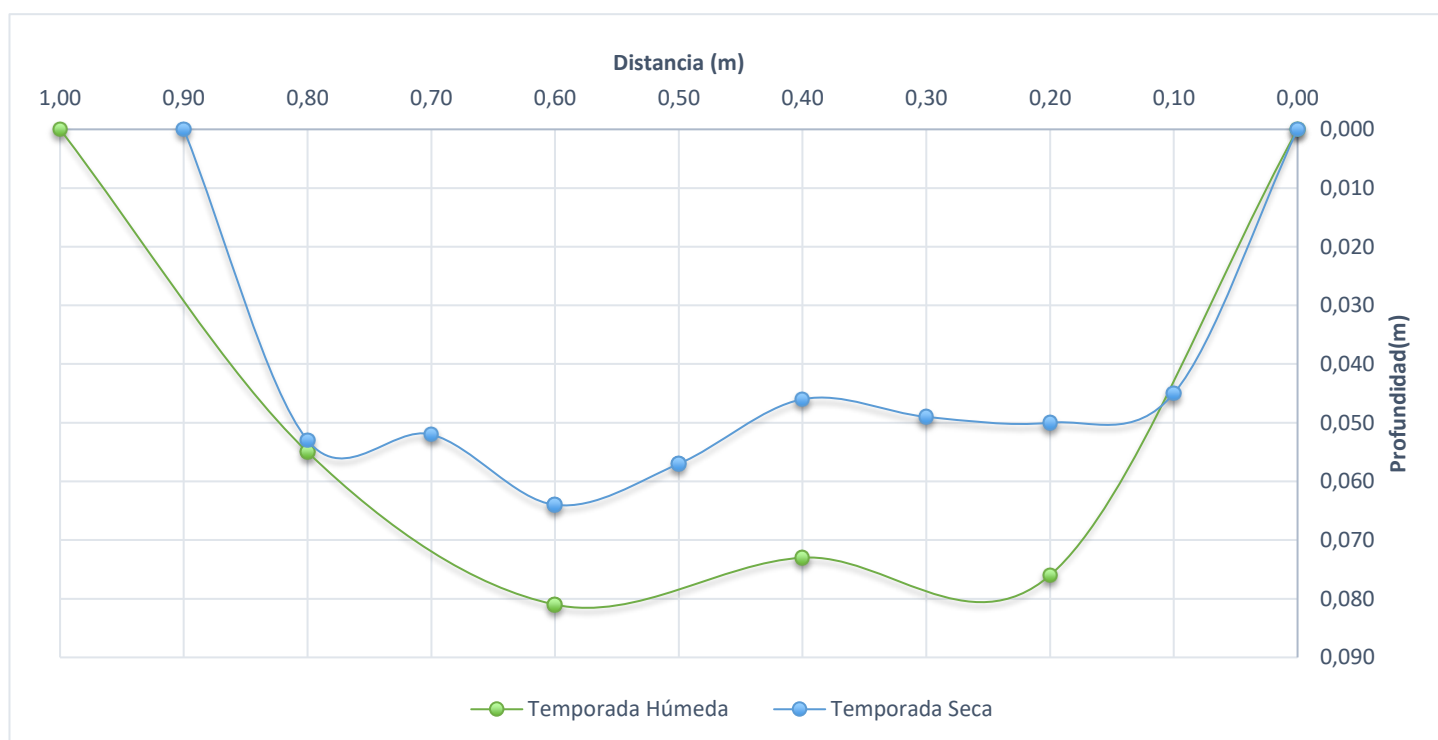


Figura 38. Perfil del punto RJC-AG-04, con un margen de inicio izquierdo.

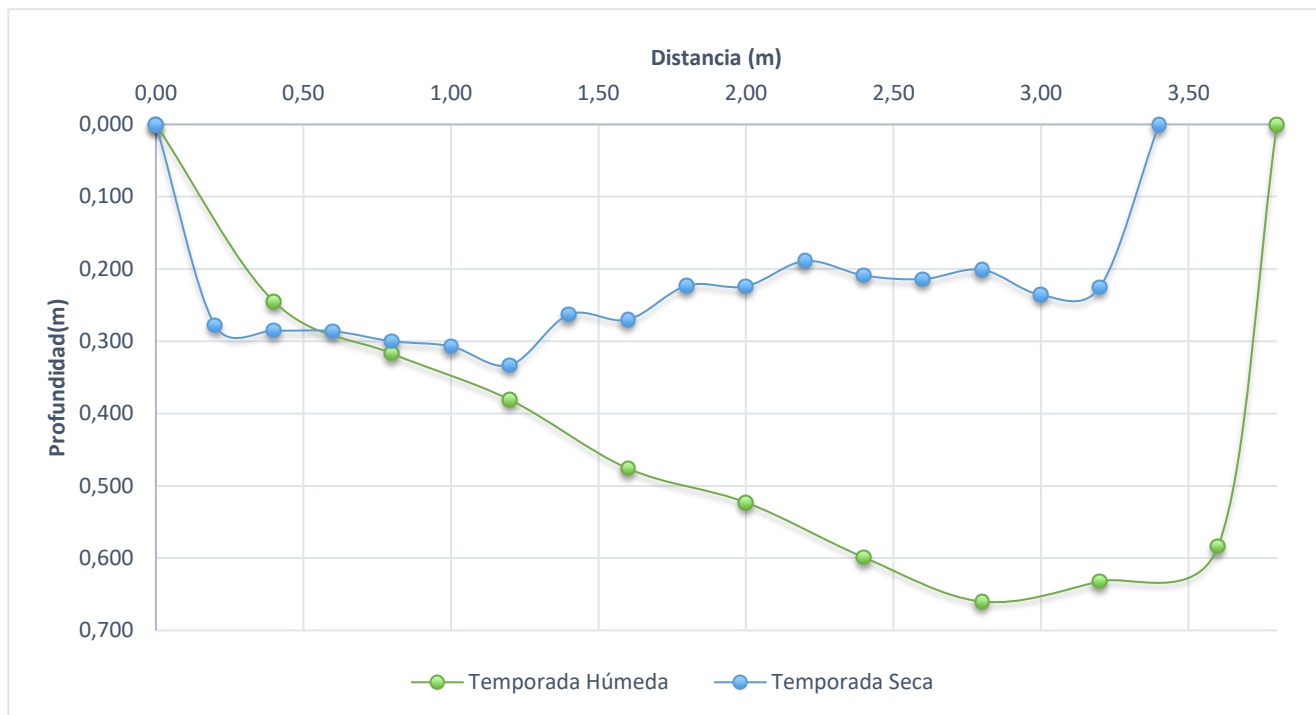


Figura 39. Perfil del punto RJC-AG-05, con un margen de inicio derecho.

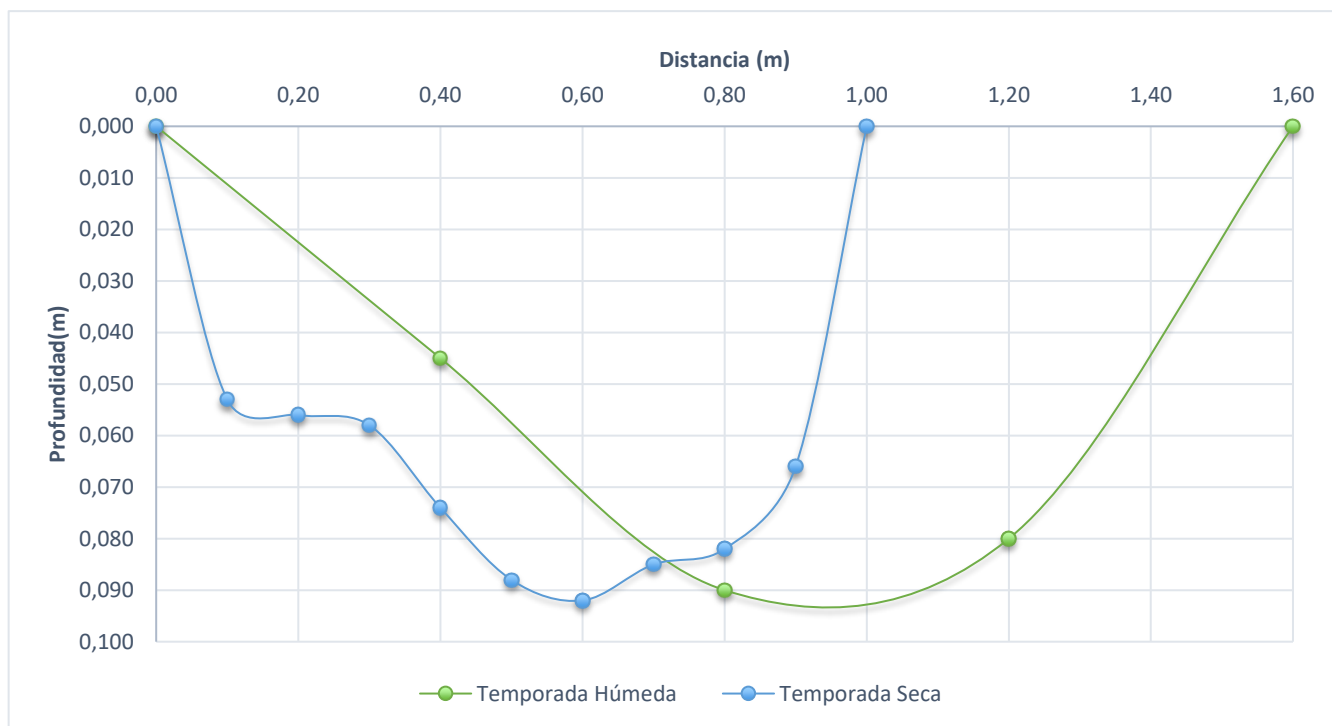


Figura 40. Perfil del punto RJC-AG-06, con un margen de inicio derecho.

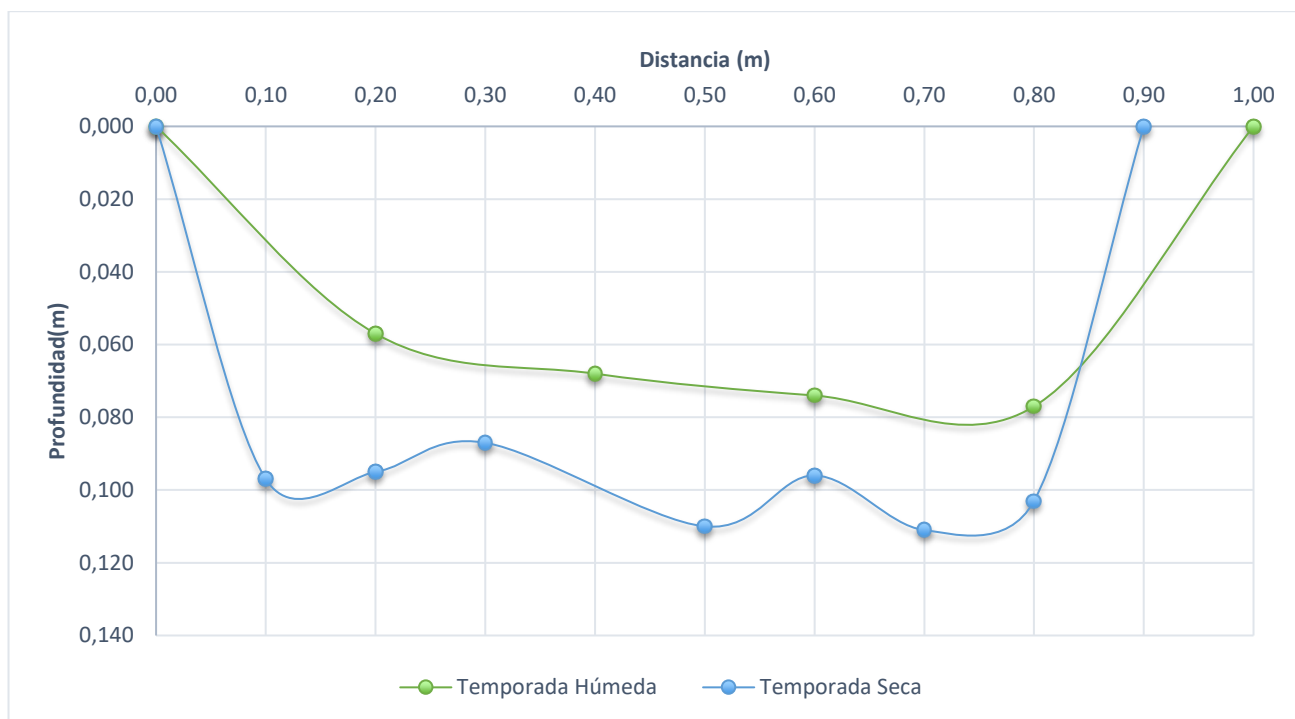


Figura 41. Perfil del punto RJC-AG-08, con un margen de inicio derecho.

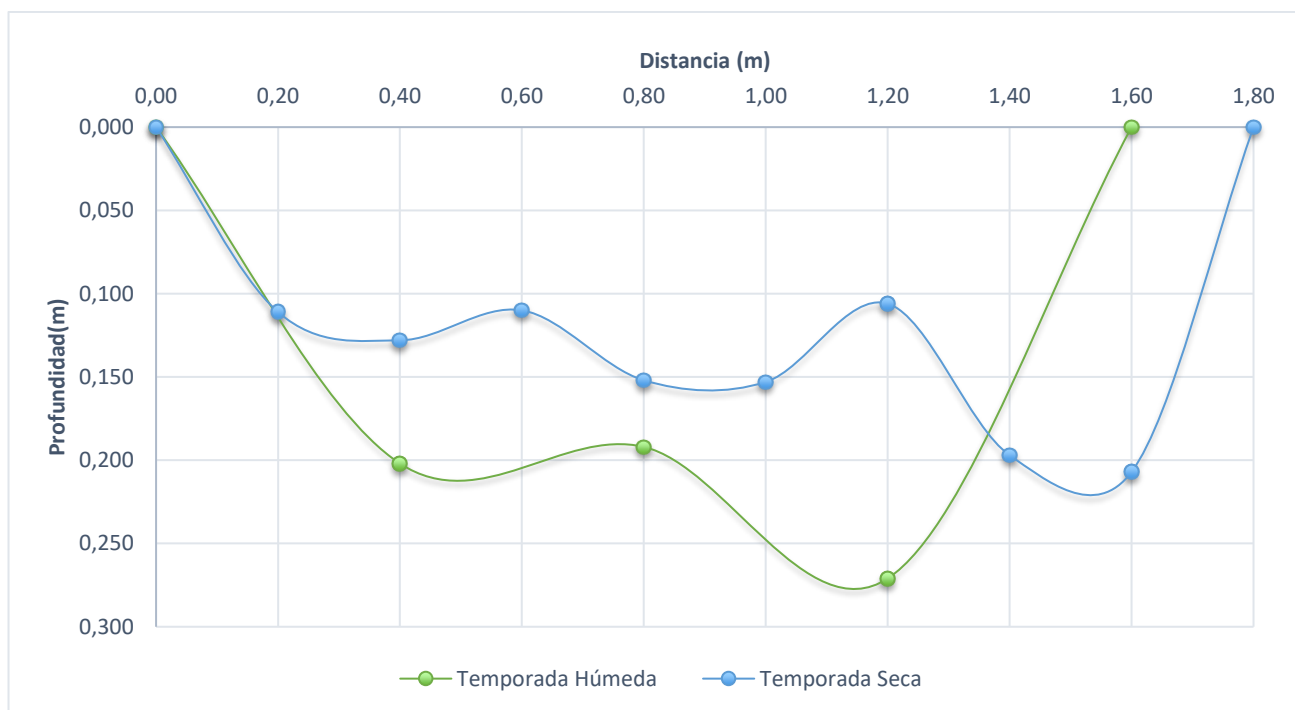


Figura 42. Perfil del punto RJC-AG-10, con un margen de inicio derecho.

8.1.3. Microcuenca del río Pucavado

Se presenta el perfil de los 09 puntos de muestreo, con datos obtenidos del correntómetro, tanto para la temporada húmeda y la temporada seca en el año 2022.

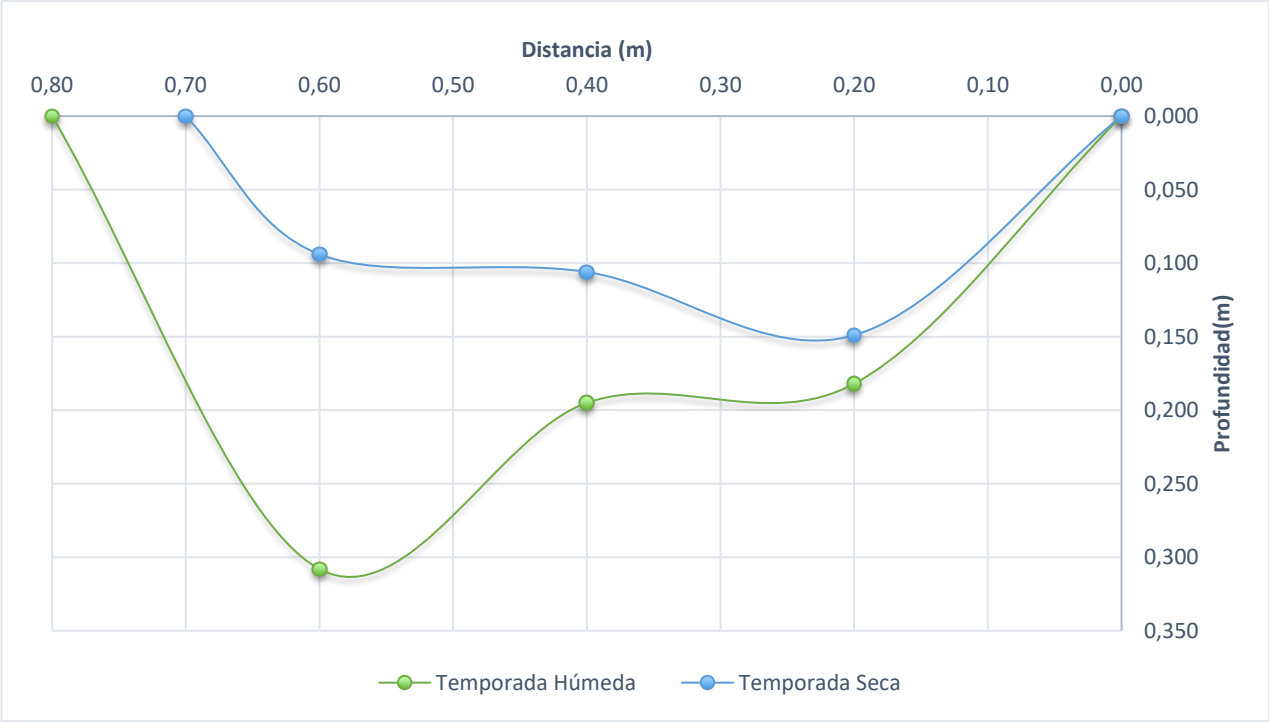


Figura 43. Perfil del punto PUC-AG-01, con un margen de inicio izquierdo.

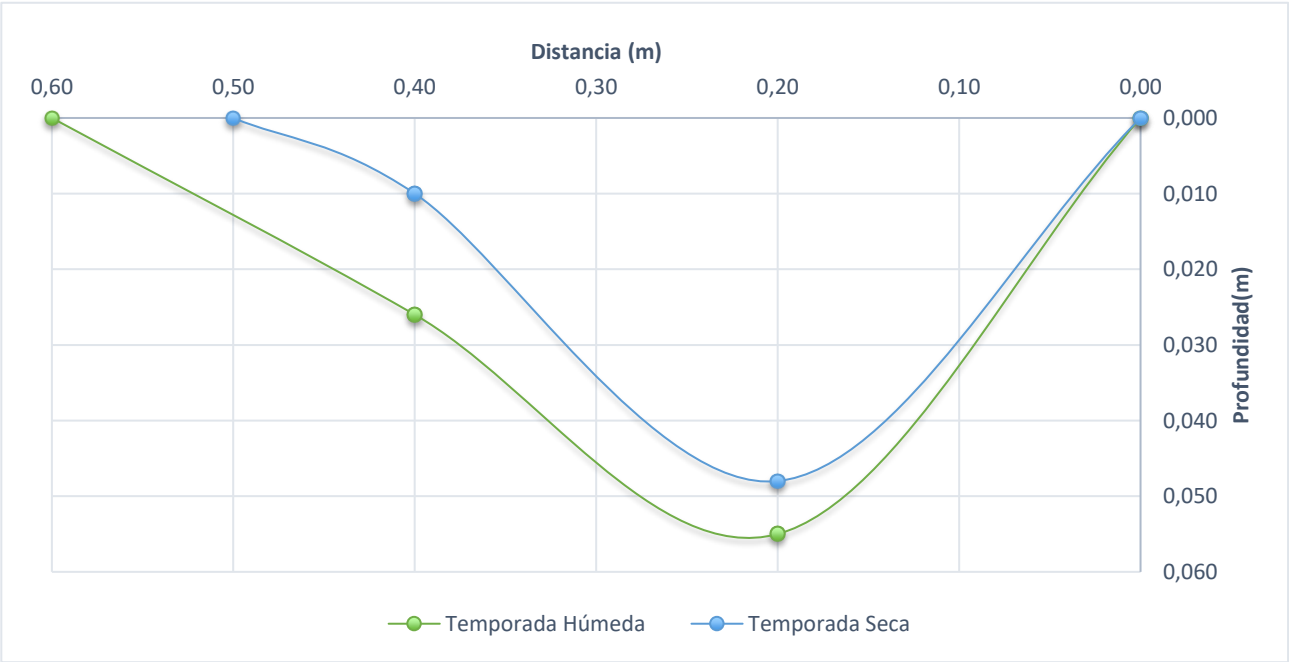


Figura 44. Perfil del punto PUC-AG-02, con un margen de inicio izquierdo.

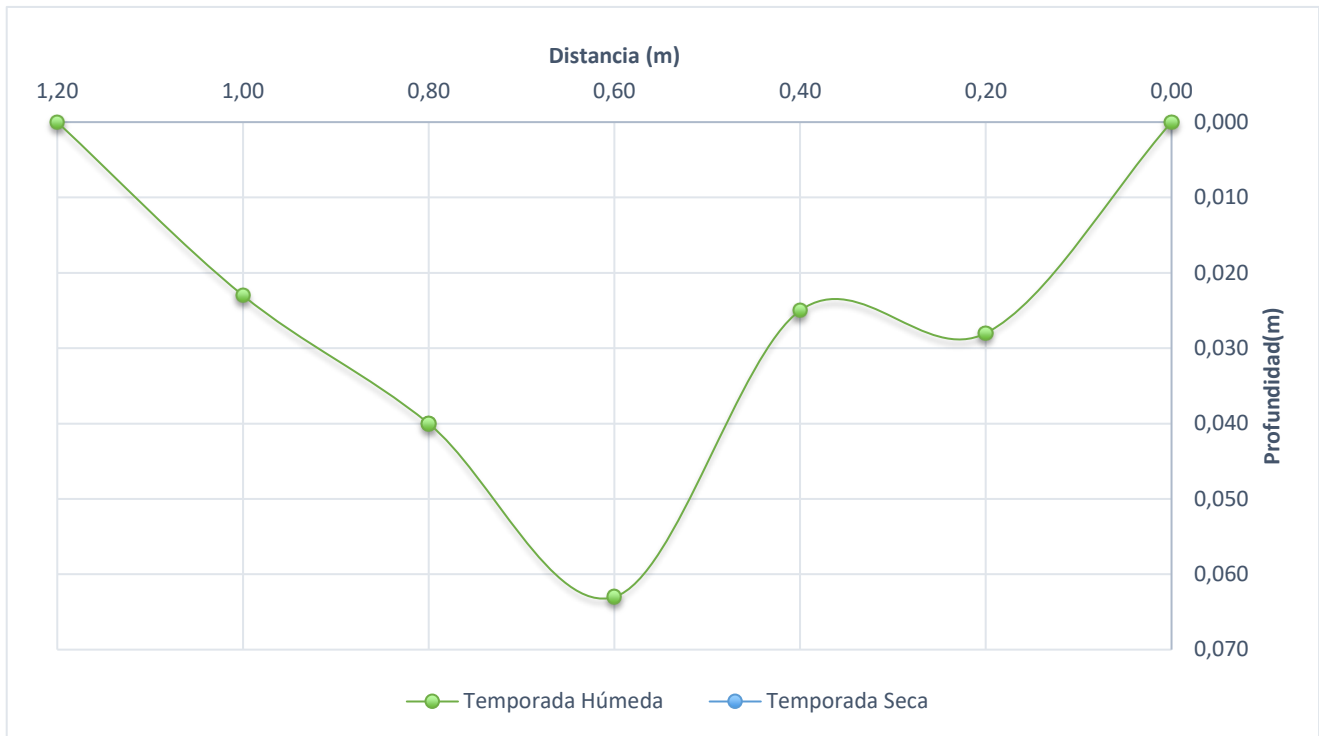


Figura 45. Perfil del punto PUC-AG-03, con un margen de inicio izquierdo.

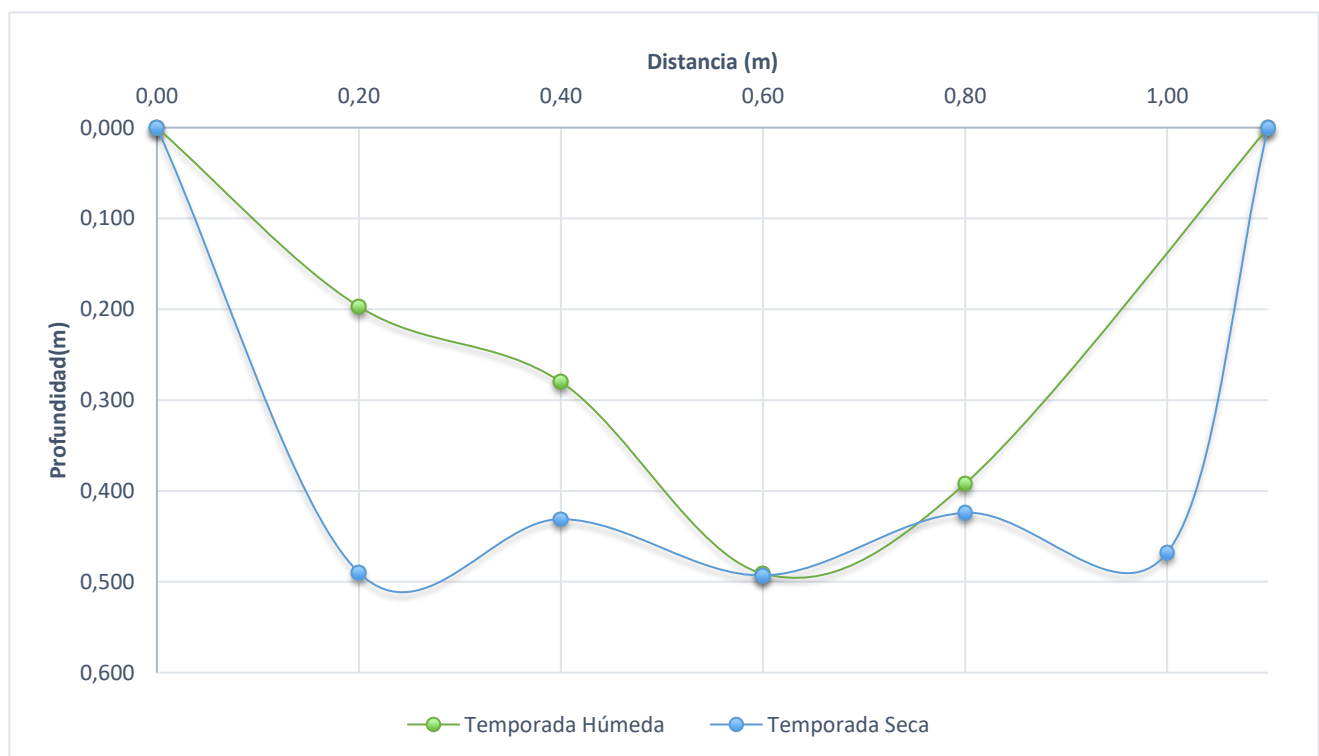


Figura 46. Perfil del punto PUC-AG-04, con un margen de inicio izquierdo.

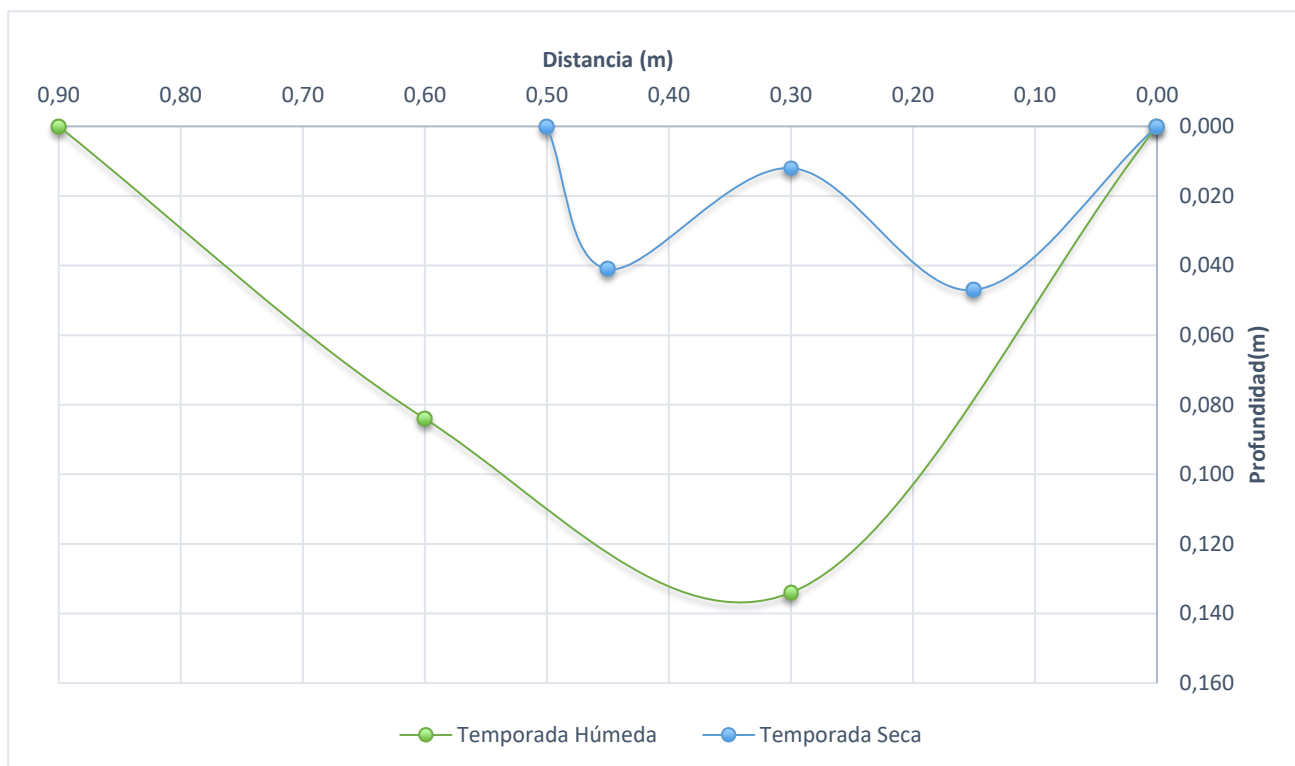


Figura 47. Perfil del punto PUC-AG-05, con un margen de inicio derecho.

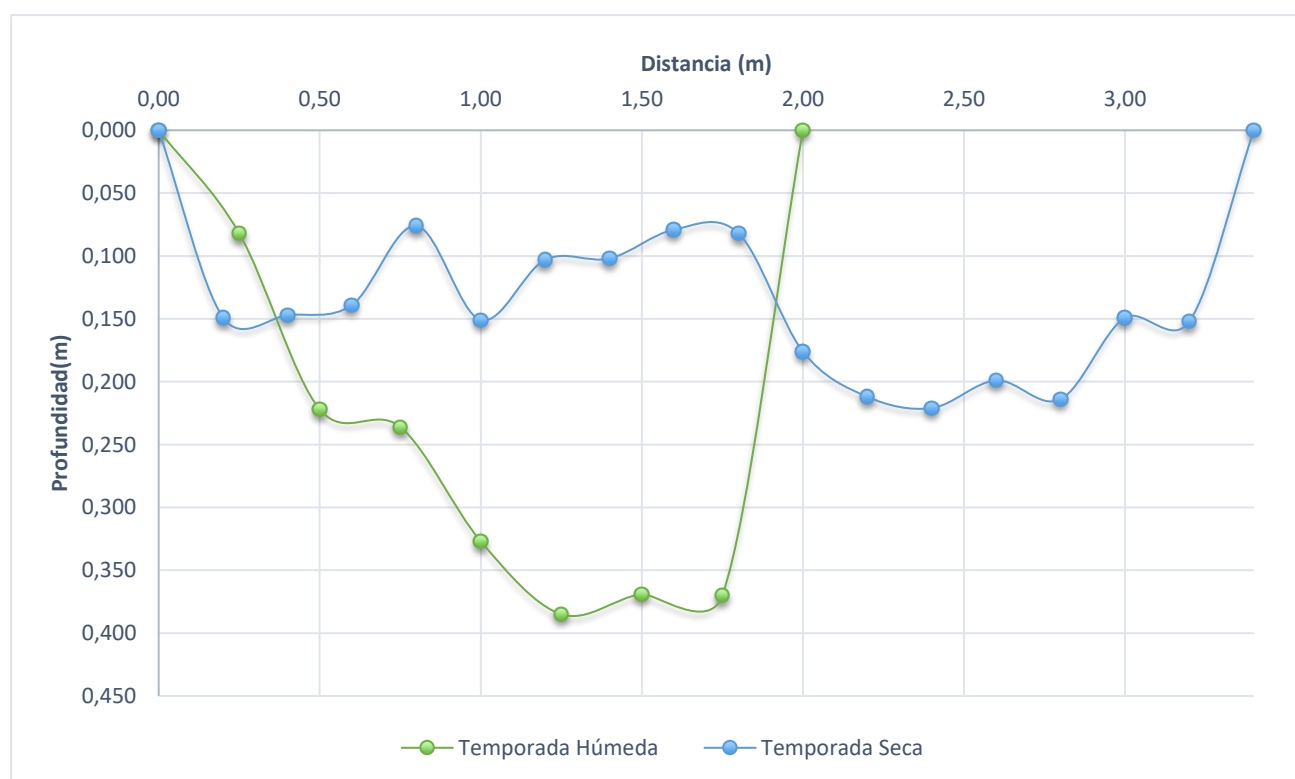


Figura 48. Perfil del punto PUC-AG-06, con un margen de inicio derecho.

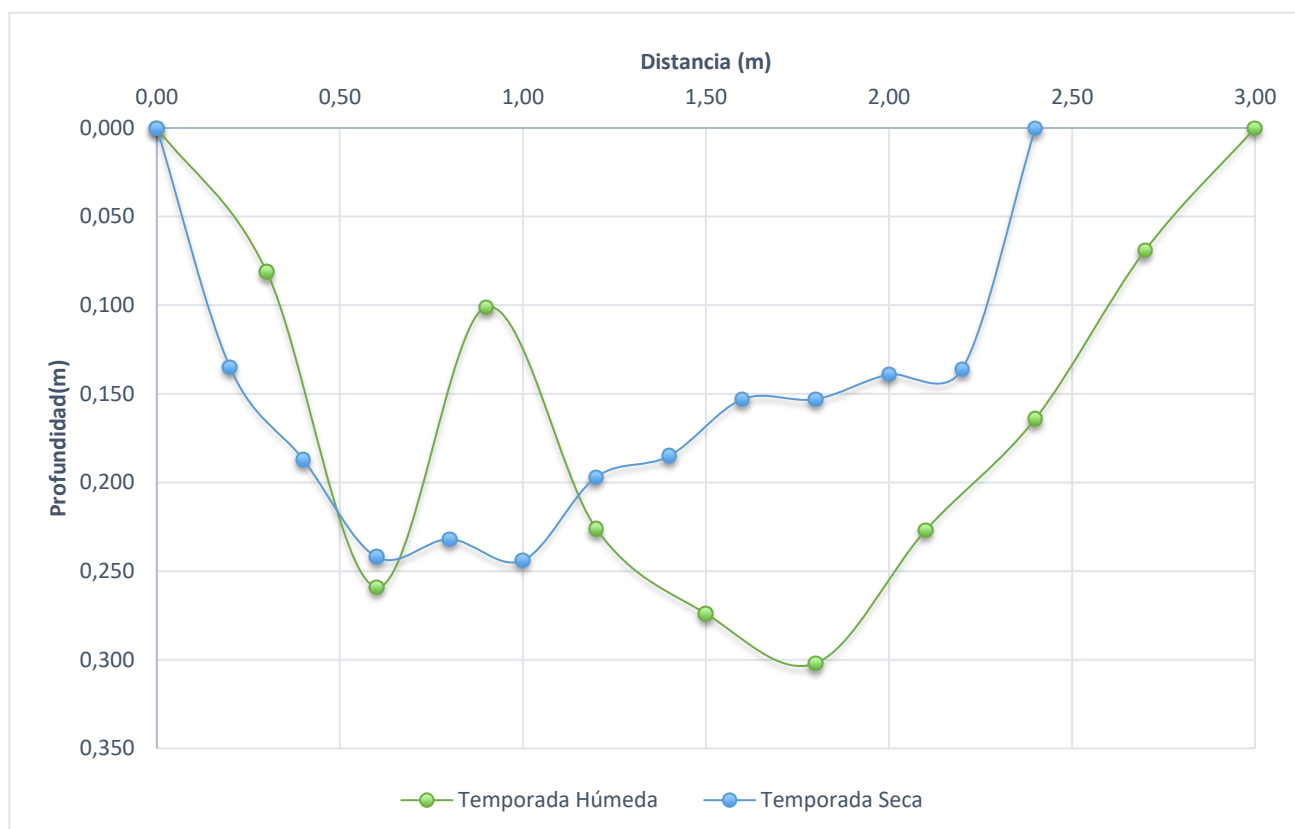


Figura 49. Perfil del punto PUC-AG-08, con un margen de inicio derecho.

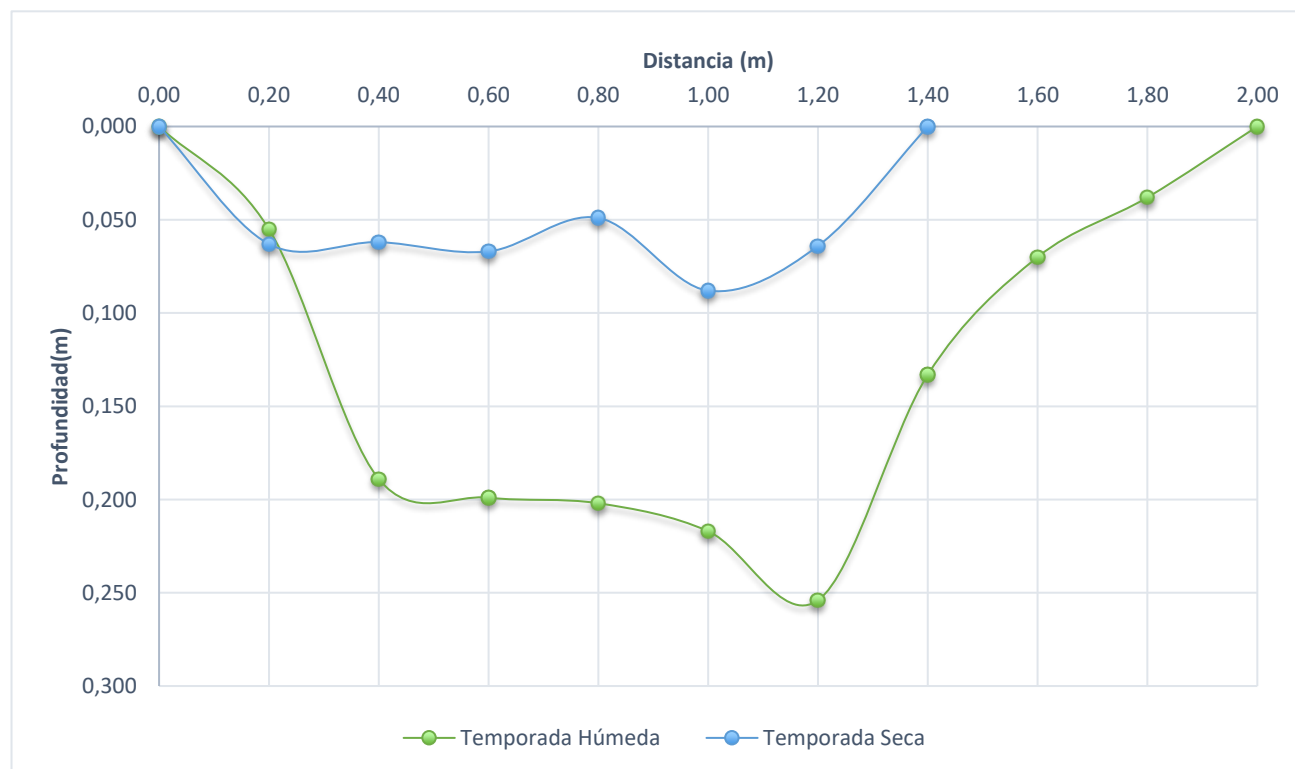


Figura 50. Perfil del punto PUC-AG-09, con un margen de inicio derecho.

8.1.4. Subcuenca del río Negro

Se graficó el perfil de los 09 puntos de muestreo, con datos obtenidos del correntómetro, tanto para la temporada húmeda y la temporada seca correspondiente al año 2022.

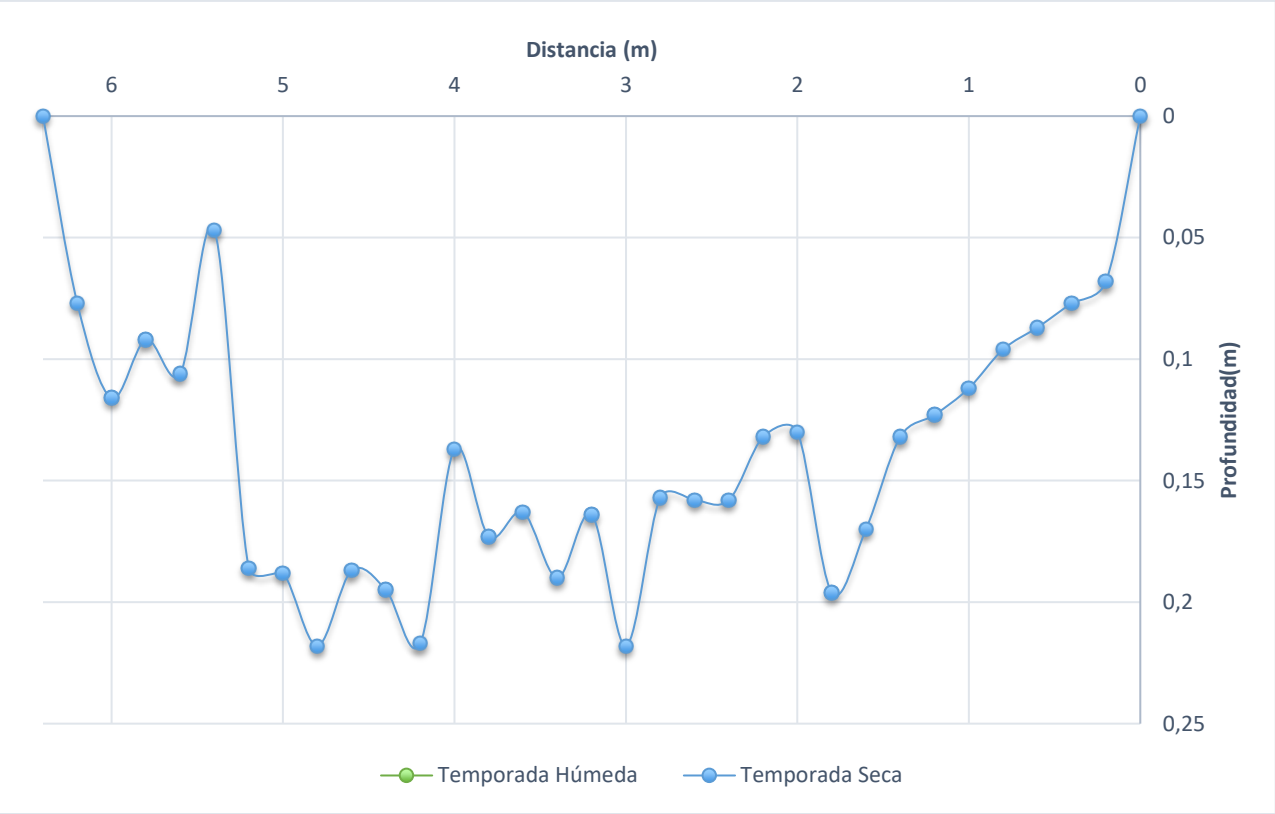


Figura 51. Perfil del punto NEG-AG-01, con un margen de inicio izquierdo.

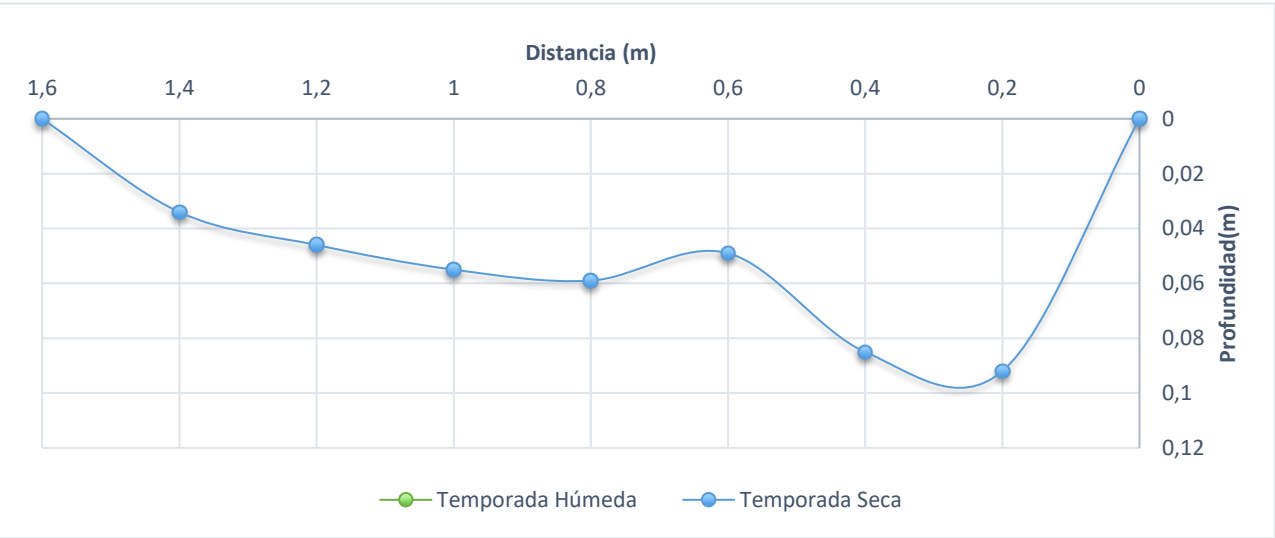


Figura 52. Perfil del punto NEG-AG-02, con un margen de inicio izquierdo.

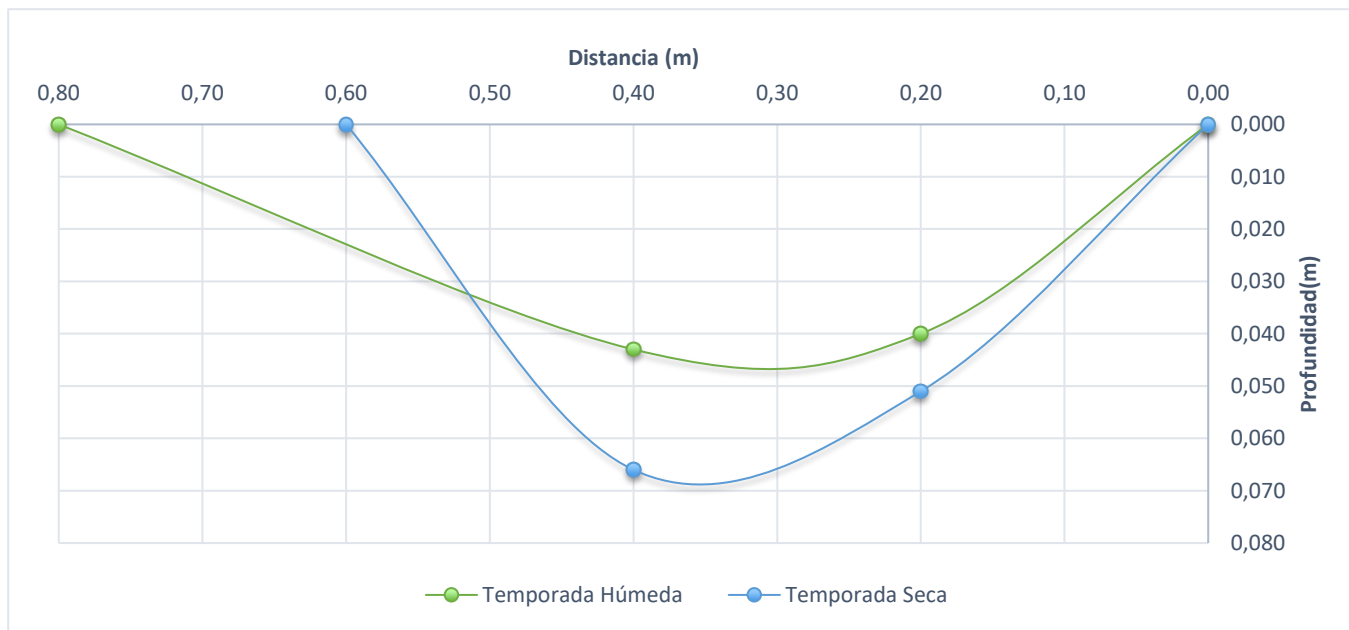


Figura 53. Perfil del punto NEG-AG-03, con un margen de inicio izquierdo.

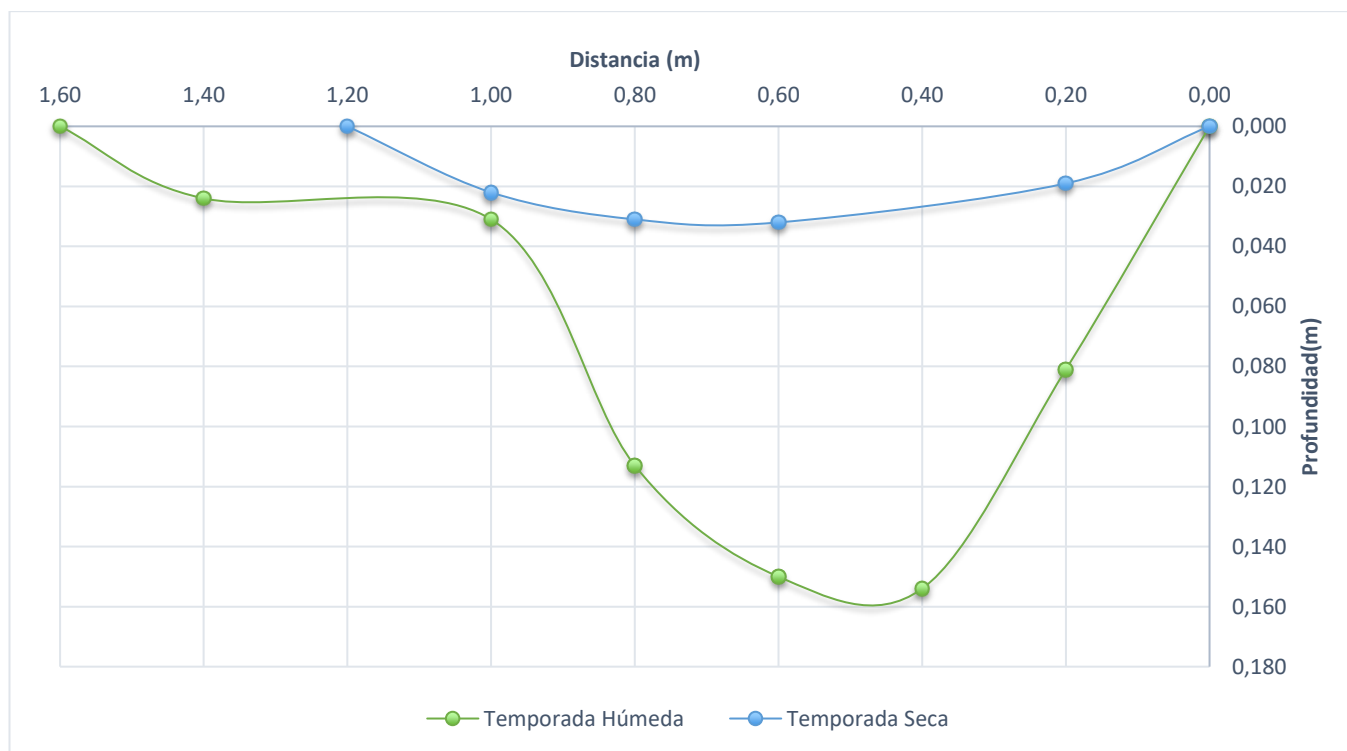


Figura 54. Perfil del punto NEG-AG-04, con un margen de inicio izquierdo.

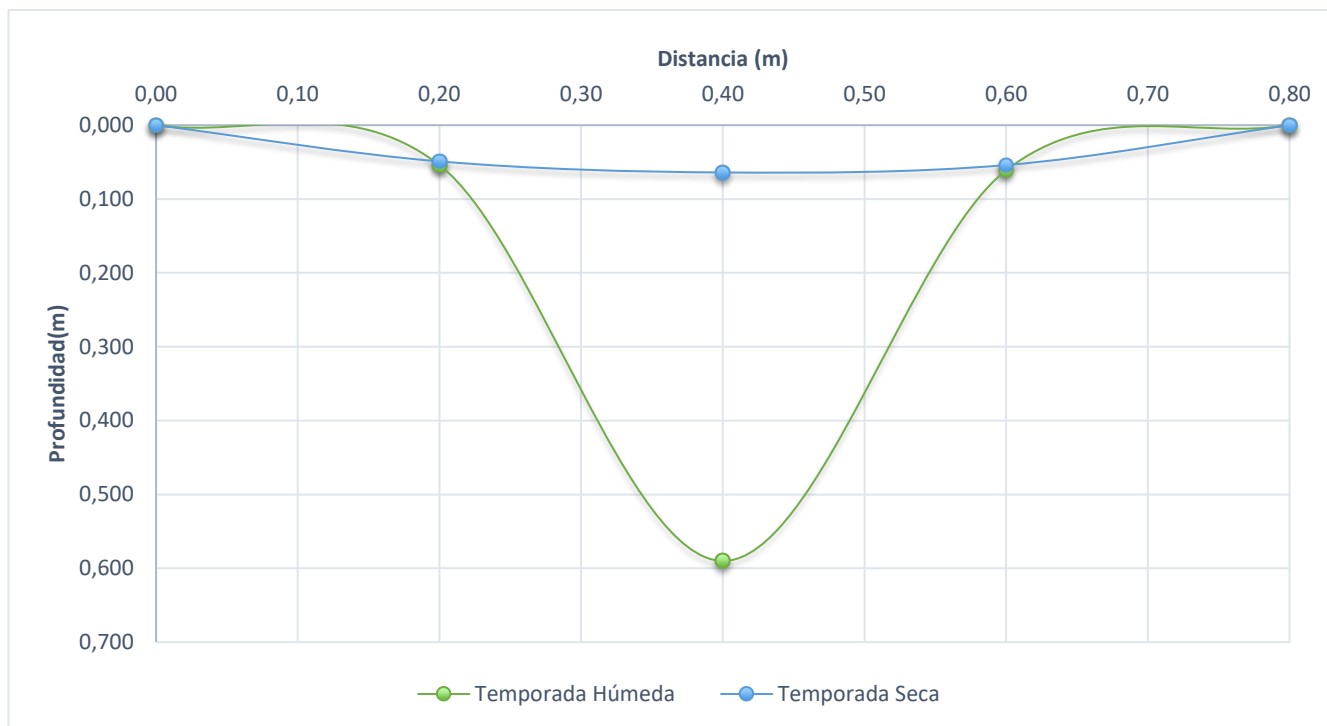


Figura 55. Perfil del punto NEG-AG-05, con un margen de inicio derecho.

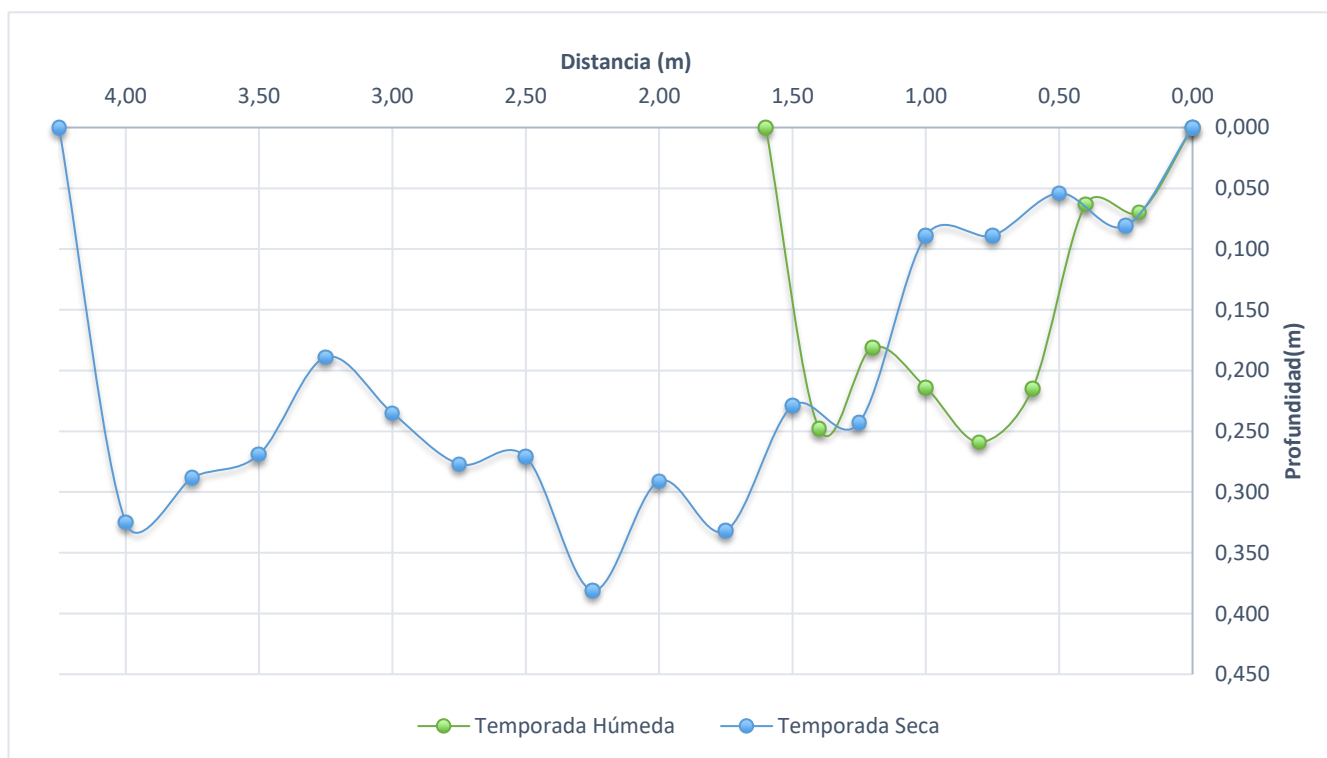


Figura 56. Perfil del punto NEG-AG-06, con un margen de inicio izquierdo.

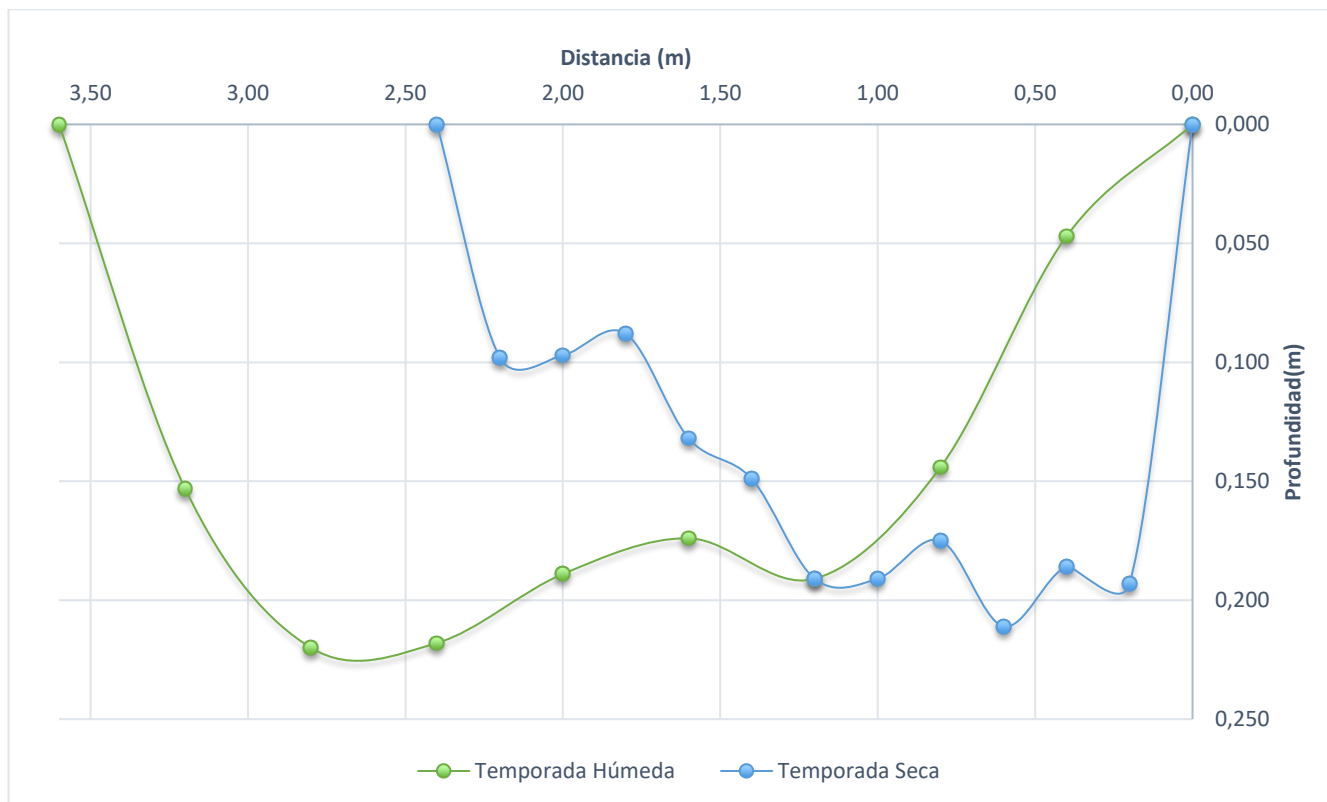


Figura 57. Perfil del punto NEG-AG-07, con un margen de inicio izquierdo.

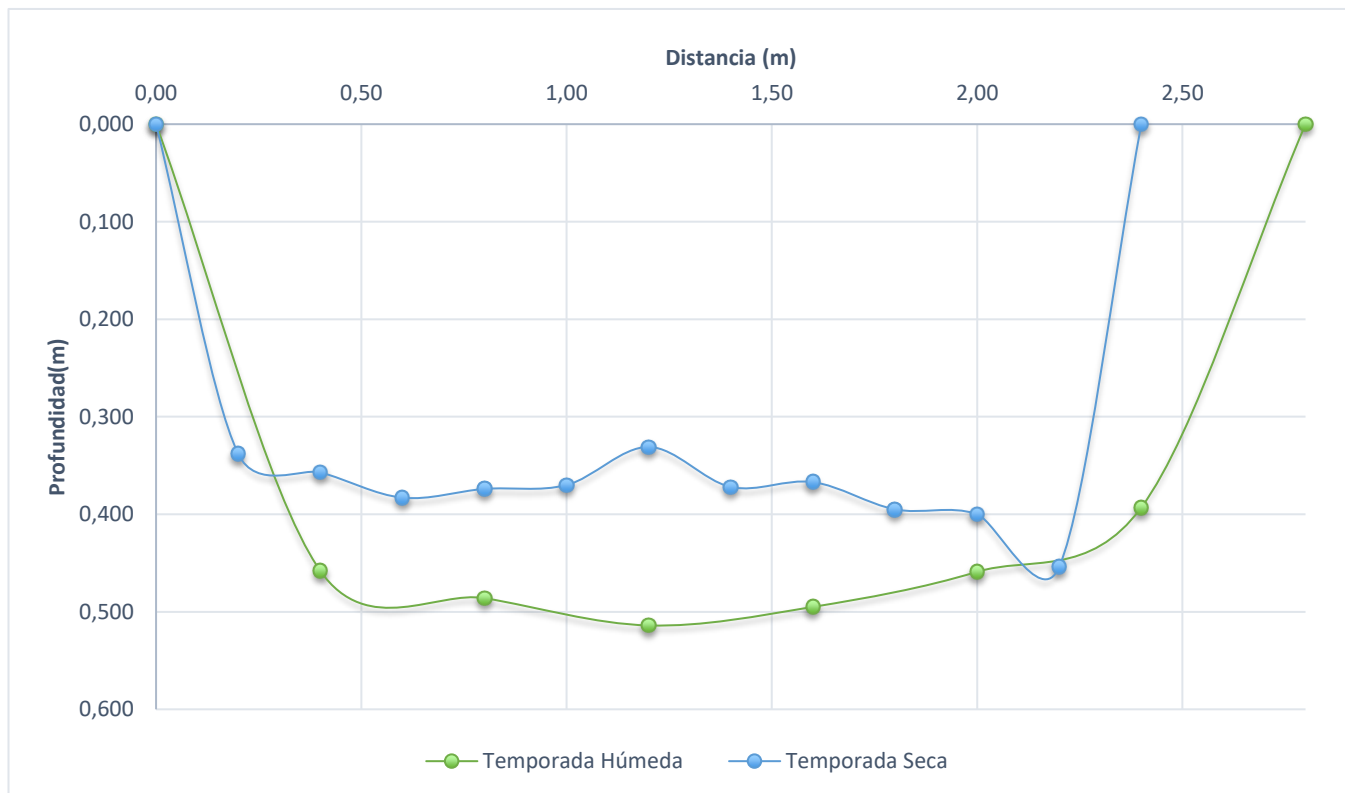


Figura 58. Perfil del punto NEG-AG-07, con un margen de inicio derecho.