

**INFORME N° 00599-2019-OEFA/DEAM-SSIM**

A : **FRANCISCO GARCÍA ARAGÓN**
Director de Evaluación Ambiental

DE : **ARMANDO MARTÍN ENEQUE PUICÓN**
Ejecutivo de la Subdirección de Sitios Impactados

LLOJAN CHUQUISENGO PICON
Coordinador de Evaluaciones Ambientales en Energía

ASUNTO : Evaluación ambiental para la determinación del caudal ecológico mediante el método holístico MesoHABSIM y el estado de la calidad del río Pativilca en el área de influencia de la central hidroeléctrica Cahua, ubicada en el distrito Manás, provincia Cajatambo, departamento Lima, durante el 2019

CUE : 2019-01-0036

REFERENCIA : Planefa 2019¹

FECHA : Lima, 30 de diciembre de 2019

Tenemos el agrado de dirigirnos a usted para informarle lo siguiente:

1. INFORMACIÓN GENERAL

Los aspectos generales para la evaluación ambiental para determinar el caudal ecológico mediante el método holístico MesoHABSIM y el estado de la calidad del río Pativilca en el área de influencia de la central hidroeléctrica Cahua se presentan en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1. Datos generales de la actividad realizada

a.	Zona evaluada	Distritos Manás, provincia Cajatambo, departamento Lima
b.	Unidades fiscalizables/ actividades económicas en la zona de estudio	Área de influencia de la central hidroeléctrica Cahua
c.	Problemática identificada	Posible afectación de «camarón de río» debido a la ausencia de paso de caudal ecológico
d.	La actividad se realizó en el marco de	Planefa 2019
e.	Periodo de ejecución	Del 3 al 9 de junio de 2019 Del 16 al 20 de julio de 2019 Del 5 al 10 de setiembre de 2019 Del 27 de setiembre al 1 de octubre de 2019
f.	Tipo de evaluación	Evaluación ambiental que determina causalidad

¹ Aprobado mediante Resolución de Consejo Directivo N.° 007-2019-OEFA/CD, del 16 de febrero de 2019, a través del cual «Aprueban el Plan Anual de Evaluación y Fiscalización Ambiental – Planefa del OEFA correspondiente al año 2019».



Profesionales que aportaron al estudio.

Tabla 1.2. Listado de profesionales

N.º	Nombre y Apellidos	Profesión	Actividad desarrollada
1	Armando Martín Eneque Puicón	Biólogo	Gabinete
2	Llojan Chuquisengo Picón	Lic. químico	Gabinete
3	José Antonio Arenas Ibarra	Biólogo	Campo y gabinete
4	Janet Brígida Quincho Olazábal	Ing. agrícola	Campo y gabinete
5	Gabriel Antonio Trujillo Paucar	Biólogo	Campo y gabinete
6	Luis Enrique Espinoza Calle	Ing. agrícola	Campo y gabinete
7	Jessica Adela Espino Ciudad	Bióloga	Gabinete
8	Lourdes Liseth Espinoza Quiroz	Ing. geógrafa	Gabinete
9	Raul Tupayachi Trujillo	Biólogo	Gabinete

2. DATOS DE LA ACTIVIDAD REALIZADA

Las matrices y parámetros analizados en la evaluación ambiental para determinar el caudal ecológico mediante el método holístico MesoHABSIM y el estado de la calidad del río Pativilca en el área de influencia de la central hidroeléctrica Cahua se presentan en las Tablas 2.1. y 2.2

Tabla 2.1. Parámetros por matrices evaluadas

Matriz evaluada	Parámetros evaluados	Cantidad de puntos /UHM		
		Primera ejecución (junio 2019)	Segunda ejecución (julio 2019)	Tercera ejecución (setiembre 2019)
Agua superficial	pH, CE, OD, temperatura	8	8	8
	Metales totales	8	8	8
	Metales disueltos	8	8	8
	Clorofila A	8	8	8
	PCB-Bifenilos policlorados	8	8	3
	Aceites y grasas	8	8	3
	Carbonato (s)	8	8	8
	Bicarbonato (s)	8	8	8
	Silicatos	8	-	-
	Cianuro WAD	8	8	-
	Detergentes aniónicos SAAM	8	8	-
	Nitrógeno amoniacal (Amoniac-N(NH3-N))	8	8	8
	Fósforo total	8	8	8
	Nitratos	8	8	8
	Nitrógeno total	8	8	8
	Carbono orgánico total	8	8	8
	Cloruro (s)	8	8	8
	Fluoruro (s)	8	8	8
	Fenoles	8	8	-
	Sulfato (s)	8	8	8
	Sulfuro (s)	8	8	-
	DBO ₅	8	8	8
	DQO	8	8	8
Pesticidas organoclorados	8	-	-	
Pesticidas organofosforados	8	-	-	
Coliformes totales	8	8	3	
Coliformes termotolerantes	8	8	-	
Agua turbinada	pH, CE, OD, temperatura	2	2	2
	Metales totales	2	2	2
	Metales disueltos	2	2	2
	Clorofila A	2	2	-
	PCB-Bifenilos policlorados	2	2	2
	Aceites y grasas	2	2	2
	Carbonato (s)	2	2	2
	Bicarbonato (s)	2	2	2
	Silicatos	2	-	-
	Cianuro WAD	2	2	-
	Detergentes aniónicos SAAM	2	2	-
Nitrógeno amoniacal (Amoniac-N(NH3-N))	2	2	2	



«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad»

Matriz evaluada	Parámetros evaluados	Cantidad de puntos /UHM		
		Primera ejecución (junio 2019)	Segunda ejecución (julio 2019)	Tercera ejecución (setiembre 2019)
	Fósforo total	2	2	2
	Nitratos	2	2	2
	Nitrógeno total	2	2	2
	Carbono orgánico total	2	2	-
	Cloruro (s)	2	2	2
	Fluoruro (s)	2	2	2
	Fenoles	2	2	-
	Sulfato (s)	2	2	2
	Sulfuro (s)	2	2	-
	DBO ₅	2	2	2
	DQO	2	2	2
	Pesticidas organoclorados	2	-	-
	Pesticidas organofosforados	2	-	-
	Coliformes totales	2	2	-
	Coliformes termotolerantes	2	2	-
Sedimento	Granulometría	8	8	7
	Metales	8	8	7
	Materia orgánica	8	8	7
Comunidades hidrobiológicas	Perifiton	22	22	21
	Macroinvertebrados bentónicos	21	21	21
	Camarones y peces*	26	26	26

(*) Se consideró unidades hidromorfológicas UHM

(-) No evaluado

Tabla 2.2. Parámetros evaluados en hábitat

Matriz evaluada	Parámetros evaluados	Cantidad de UHM			
		Primera ejecución (junio 2019)	Segunda ejecución (julio 2019)	Tercera ejecución (setiembre 2019)	Cuarta ejecución (octubre 2019)
Hábitat	Caudales*	26	26	26	26
	Hidromorfología	26	26	26	26
	Parámetros fisicoquímicos	26	26	26	26
	Granulometría de lecho	26	26	26	26
	Vuelo fotogramétrico	-	-	-	26

UHM: Unidades hidromorfológicas

(*) Cada UHM contiene dos secciones de medición de caudal

(-) No evaluado

Los parámetros que excedieron la normativa en la evaluación ambiental para determinar el caudal ecológico mediante el método holístico MesoHABSIM y el estado de la calidad del río Pativilca en los cuerpos receptores evaluados en el área de influencia de la central hidroeléctrica Cahua se presentan en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3. Parámetros que exceden normativa ambiental

Matriz	Cuerpo de agua	Código	Norma ambiental			
			OEFA	Vigente ¹		
				Junio 2019	Julio 2019	Setiembre 2019
Agua superficial ¹	Río Pativilca	RPat-11	--	--	pH ^b	
		RPat-10	--	--	pH ^b	
		RPat-1	--	pH ^b	--	
	Quebrada Carhuan	QCar-1	--	--	pH ^{a,b}	
		RPat-3	pH ^{a,b}	pH ^{a,b}	pH ^{a,b}	
	Río Pativilca	RPat-4	--	pH ^b	pH ^b	
RPat-18		--	pH ^b	pH ^b		

(1) Estándares de Calidad Ambiental para Agua. Decreto Supremo N.° 004-2017-MINAM.

(a) No cumple con los ECA para Agua 2017, en la Categoría 3 (D1) riego de vegetales.

(b) No cumple con los ECA para Agua 2017, en la Categoría 3 (D2) bebida de animales.



3. PRINCIPALES CONCLUSIONES

La presente evaluación abarcó el área de influencia de la C.H. Cahua y el río Pativilca el cual se caracteriza por tener un sistema regulado en toda la cuenca, la evaluación fue dividido en 3 zonas: zona I «zona de control» antes de la captación de agua de la C.H. Cahua, zona II «zona de caudal reducido» entre la captación y punto de restitución de agua turbinada y zona III «zona de influencia» tramo después de la restitución de agua turbinada); realizando en dichas zonas monitoreos de agua superficial, sedimento, comunidades hidrobiológicas, mediciones hidráulicas de unidades hidromorfológicas (UHM) y colecta de camarones. Asimismo, para determinar el caudal ecológico se utilizó el modelo de uso de hábitat MesoHABSIM el cual depende de la disponibilidad y preferencia de unidades hidromorfológicas. Cuyas conclusiones se detallan a continuación:

- Según el modelo holístico MesoHABSIM, el valor del caudal ecológico para la especie *Cryphiops caementarius* «camarón de río» es de 10 m³/s para una condición óptima y para una condición de moderado a bueno es de 5 m³/s. Con este caudal se mejoraría las condiciones de habitabilidad del camarón encontradas en la Zona II, «zona de caudal reducido», donde se registraron caudales entre 0,5 y 2 m³/s.
- En las 3 zonas evaluadas se registraron una distribución heterogénea de *Cryphiops caementarius* (1,5 a 16 cm) resaltando mayor abundancia en la zona II, la misma que se ve favorecida por la disminución del ancho del cauce y la mayor área porcentual de áreas someras, canto rodado y la presencia de vegetación sumergida; asimismo, se debe precisar que en esta zona se registró el mayor contenido de sólidos suspendidos, variable condicionante para la productividad del camarón de río.
- El comportamiento de los parámetros fisicoquímicos e inorgánicos evaluados en las 3 zonas y meses evaluados fueron similares a excepción de los sólidos totales suspendidos, que presentó mayores concentraciones en la zona II; sin embargo, ninguno de ellos excedió los estándares de calidad ambiental (ECA) para Agua (2017), Categoría 3, a excepción del potencial de hidrógeno (pH) que estuvo por encima del estándar en las 3 zonas evaluadas.
- Las concentraciones de metales en sedimento en las 3 zonas evaluadas no registraron variaciones significativas espacialmente, pero registraron cambios a nivel temporal asociados a la granulometría. Adicionalmente, se registraron concentraciones de arsénico que excedieron referencialmente los valores PEL Estándares de la Guía de Calidad Ambiental de Canadá–CEQG en las 3 zonas evaluados; además del cadmio y zinc en la zona II, que excedieron dicho estándar.
- Los sólidos totales suspendidos explicaron en parte la abundancia total de la comunidad de perifiton, limitando en algunos casos, su desarrollo por el efecto abrasivo de este. La comunidad de macroinvertebrados bentónicos presentó diferencias entre las zonas a nivel de abundancia, en particular en los meses de junio y julio 2019. La zona II, a pesar de tener valores altos de incrustamiento tuvo una mayor abundancia de macroinvertebrados bentónicos. Estos valores de abundancia estuvieron relacionados a los valores bajos de velocidad registrados en este tramo, los cuales reducen el desprendimiento de macroinvertebrados bentónicos, en comparación con la zona I. La velocidad dominante en cada zona



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

SSIM: Subdirección de Sitios
Impactados

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad»

se reflejó en las familias encontradas en el índice LIFE, caracterizando a la zona II con la presencia de familias de preferencia a hábitats de escasa velocidad.

El desarrollo completo del análisis de resultados y conclusiones se encuentra en el documento adjunto al presente informe.

4. RECOMENDACIONES

- Aprobar el informe de la evaluación ambiental para determinar el caudal ecológico mediante el método holístico MesoHABSIM y el estado de la calidad del río Pativilca en el área de influencia de la central hidroeléctrica Cahua, ubicada en el distrito Manas, provincia Cajatambo, departamento Lima; propiedad de la empresa Statkraft Perú S.A., realizado durante el 2019; en vista que cuenta con el sustento técnico requerido.
- Remitir a la Dirección de Supervisión Ambiental en Energía y Minas para los fines que se estimen convenientes.

Atentamente:

[AENEQUE]

[LCHUQUISENGO]

Visto este informe la Dirección de Evaluación Ambiental ha dispuesto su aprobación.

Atentamente:

[FGARCIA]



"Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado por el OEFA, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. N° 026-2016-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través de la siguiente dirección web: <https://sistemas.oefa.gob.pe/verifica> e ingresando la siguiente clave: 01027133"



01027133



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

SSIM: Subdirección de Sitios
Impactados

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad»



**EVALUACIÓN AMBIENTAL PARA LA DETERMINACIÓN DEL
CAUDAL ECOLÓGICO MEDIANTE EL MÉTODO HOLÍSTICO
MesoHABSIM Y EL ESTADO DE LA CALIDAD DEL RÍO
PATIVILCA EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DE LA CENTRAL
HIDROELÉCTRICA CAHUA, UBICADO EN EL DISTRITO
MANÁS, PROVINCIA CAJATAMBO, DEPARTAMENTO LIMA,
DURANTE EL 2019**

**SUBDIRECCIÓN DE SITIOS IMPACTADOS
DIRECCIÓN DE EVALUACIÓN AMBIENTAL**

2019



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

SSIM: Subdirección de Sitios
Impactados

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad»

Profesionales que aportaron a este documento:



ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	ANTECEDENTES	2
3.	OBJETIVOS	3
3.1	Objetivo general	3
3.2	Objetivos específicos	3
4.	ÁREA DE ESTUDIO	3
5.	Contexto social	5
6.	METODOLOGÍA	5
6.1	Agua	6
6.1.1	Guías utilizadas para la evaluación	6
6.1.2	Ubicación de puntos de muestreo	6
6.1.3	Parámetros y métodos de análisis	7
6.1.4	Equipos utilizados	9
6.1.5	Aseguramiento de la calidad	9
6.1.6	Procesamiento de datos	9
6.1.7	Criterios de evaluación	13
6.2	Sedimento	13
6.2.1	Guías utilizadas para la evaluación	13
6.2.2	Ubicación de puntos de muestreo	14
6.2.3	Parámetros y métodos de análisis	14
6.2.4	Equipos utilizados	15
6.2.5	Aseguramiento de la calidad	15
6.2.6	Procesamiento de datos	15
6.2.7	Criterios de evaluación	16
6.3	Comunidades hidrobiológicas	17
6.3.1	Guías utilizadas para la evaluación	17
6.3.2	Ubicación de puntos de muestreo	17
6.3.3	Parámetros y métodos de análisis	19
6.3.4	Equipos utilizados	20
6.3.5	Procesamiento de datos	20
6.3.6	Criterios de evaluación	27
6.4	Caudal ecológico y preferencia de hábitat	27
6.4.1	Guías utilizadas para la evaluación	27
6.4.2	Ubicación de puntos de muestreo	27



6.4.3	Parámetros y métodos de análisis	30
6.4.4	Procesamiento de datos	33
6.4.5	Criterios de evaluación	34
7.	RESULTADOS Y ANÁLISIS	35
7.1	Agua	35
7.1.1	Comparación con las normativas vigente	35
7.1.2	Relación de parámetro	39
7.2	Sedimento	46
7.2.1	Comparación con norma referencial	46
7.2.2	Evaluación granulométrica y contenido de materia orgánica	47
7.2.3	Análisis multivariado	49
7.2.4	Diagrama de cajas y bigotes	51
7.3	Comunidades hidrobiológicas.....	52
7.3.1	Condiciones de preferencia	52
7.3.2	Perifiton	54
7.3.3	Macroinvertebrados bentónicos	70
7.3.4	Camarón de río (<i>Cryphiops caementarius</i>)	88
7.3.5	Peces	92
7.4	Caudal ecológico	96
7.4.1	Parámetros fisicoquímicos.....	96
7.4.2	Hidromorfología	103
7.4.3	Modelo de hábitat	109
8.	DISCUSIÓN	125
9.	CONCLUSIONES	137
10.	ANEXOS	138
11.	BIBLIOGRAFÍA	138

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 6.1.	Referencias para el muestreo de agua superficial y agua turbinada.....	6
Tabla 6.2.	Ubicación de los puntos de muestreo de agua superficial.....	6
Tabla 6.3.	Ubicación de los puntos de muestreo de agua turbinada.....	7
Tabla 6.4.	Parámetros considerados para la evaluación de agua superficial y agua turbinada (junio 2019).....	7
Tabla 6.5.	Parámetros considerados para la evaluación de agua superficial y agua turbinada (julio y setiembre 2019).....	8
Tabla 6.6.	Referencias para el monitoreo para calidad de sedimentos.....	13
Tabla 6.7.	Ubicación de los puntos de muestreo de sedimentos.....	14
Tabla 6.8.	Parámetros considerados para la evaluación de calidad de sedimentos....	14
Tabla 6.9.	Valores de referencia para metales pesados en sedimentos.....	17
Tabla 6.10.	Guías utilizadas para la evaluación de comunidades hidrobiológicas.....	17
Tabla 6.11.	Ubicación de los puntos de muestreo de comunidades hidrobiológicas.....	18
Tabla 6.12.	Comunidades hidrobiológicas evaluados por puntos de muestreo.....	19
Tabla 6.13.	Parámetros evaluados y métodos de análisis de comunidades hidrobiológicas.....	19
Tabla 6.14.	Criterio de valoración para las características usadas en la definición de las estaciones de referencia en el CERA.....	20
Tabla 6.15.	Puntajes de sensibilidad asignadas a las familias de macroinvertebrados bentónicos.....	23
Tabla 6.16.	Estado de la calidad ecológica del agua según el ABI en Perú.....	24
Tabla 6.17.	Asociación ecológica de los grupos a las condiciones hidráulicas.....	24
Tabla 6.18.	Grupos de cada familia de macroinvertebrados bentónicos.....	24
Tabla 6.19.	Categorías para las abundancias de macroinvertebrados bentónicos.....	25
Tabla 6.20.	Puntajes asignados a cada grupo y categoría de abundancia.....	25
Tabla 6.21.	Ubicación de unidades hidromorfológicas (UHM) en la zona I (control).....	28
Tabla 6.22.	Ubicación de unidades hidromorfológicas (UHM) en la zona II (caudal reducido).....	28
Tabla 6.23.	Ubicación de unidades hidromorfológicas (UHM) en la zona III (influencia).....	29
Tabla 6.24.	Parámetros para evaluar caudal ecológico específico en el área de influencia de la C.H. Cahua.....	30
Tabla 6.25.	Definición de unidades hidromorfológicas empleadas en MesoHABSIM....	31
Tabla 6.26.	Escala granulométrica modificada.....	32
Tabla 7.1.	Parámetros que excedieron los ECA para Agua (2017).....	37
Tabla 7.2.	Porcentaje de metales disueltos en los puntos de muestreo en el área de influencia de la C.H. Cahua.....	40
Tabla 7.3.	Test de KMO y explicación de la varianza evaluados con los metales totales.....	41
Tabla 7.4.	Carga (<i>loadings</i>) estandarizadas de factores para parámetros.....	41
Tabla 7.5.	Puntuaciones (<i>scores</i>) estandarizadas de factores considerando.....	42
Tabla 7.6.	Resultados de calidad de sedimentos.....	47
Tabla 7.7.	Test de KMO y explicación de la varianza evaluados con los metales totales.....	49
Tabla 7.8.	Cargas (<i>loadings</i>) estandarizadas de factores para metales.....	49
Tabla 7.9.	Puntuaciones (<i>scores</i>) estandarizadas para metales.....	50
Tabla 7.10.	Valoración para las características usadas en la definición de estaciones de referencia en el CERA.....	53
Tabla 7.11.	Cantidad de especies por Phylum para cada zona y temporada.....	54



Tabla 7.12.	Parámetros de la función de Clench y riqueza estimada de la comunidad de perifiton por zonas y temporadas	55
Tabla 7.13.	Registros del índice de Shannon – Wiener (H') para la comunidad de perifiton	59
Tabla 7.14.	Registros del índice de la equidad de Pielou para la comunidad de perifiton	62
Tabla 7.15.	Registros de la abundancia para la comunidad de perifiton	64
Tabla 7.16.	Composición porcentual del Phylum Insecta para los macroinvertebrados bentónicos.....	71
Tabla 7.17.	Parámetros de la función de Clench y riqueza estimada de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos por zonas y temporadas	72
Tabla 7.18.	Registros del índice de Shannon para la comunidad de perifiton – junio 2019 macroinvertebrados bentónicos.....	75
Tabla 7.19.	Registros de la Equidad de Pielou para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos.....	78
Tabla 7.20.	Registros de la Abundancia para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos.....	80
Tabla 7.21.	Composición taxonómica de peces en un sector del río Pativilca	92
Tabla 7.22.	Frecuencia de <i>Trichomycterus</i> sp. en las 3 zonas del río Pativilca	93
Tabla 7.23.	Frecuencia de <i>Basilichthys semotilus</i> en las 3 zonas del río Pativilca	95
Tabla 7.24.	Frecuencia de <i>Lebiasina bimaculata</i> en la zona II del río Pativilca	96
Tabla 7.25.	Valores promedios de caudal y temperatura.....	97
Tabla 7.26.	Valores de caudal, ancho mojado promedio y velocidad promedio por zonas y temporadas	105
Tabla 7.28.	Cantidad y porcentaje de UHM encontrados por zona y por temporada..	106
Tabla 7.27.	Cantidad de cantos rodados encontrados de cada tipo de incrustamiento por zonas y temporadas.....	108
Tabla 7.29.	Modelo de hábitat para la presencia de <i>Cryphiops caementarius</i> en la zona I	109
Tabla 7.30.	Habitabilidad para la presencia de <i>Cryphiops caementarius</i> en la zona I	111
Tabla 7.31.	Modelo de hábitat para la habitabilidad (presencia/ausencia) de <i>Cryphiops caementarius</i> en la zona II.....	113
Tabla 7.32.	Habitabilidad para la presencia de <i>Cryphiops caementarius</i> en la zona II	115
Tabla 7.33.	Habitabilidad óptima (abundante-no abundante) para la presencia de <i>Cryphiops caementarius</i> en la zona II	115
Tabla 7.34.	Habitabilidad para la presencia de <i>Cryphiops caementarius</i> en la zona II	117
Tabla 7.35.	Modelo de hábitat para la habitabilidad (presencia/ausencia) de <i>Cryphiops caementarius</i> en la zona III.....	119
Tabla 7.36.	Habitabilidad (presencia/ausencia) de <i>Cryphiops caementarius</i> en la zona III	121
Tabla 7.37.	Modelo de hábitat para la habitabilidad (presencia/ausencia) de <i>Cryphiops caementarius</i> en la zona III.....	122
Tabla 7.38.	Habitabilidad Óptima para la abundancia de <i>Cryphiops caementarius</i>	123



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4.1. Mapa de ubicación de la C.H. Cahua.....4

Figura 4.2. Área de estudio distribuido por zonas5

Figura 6.1. Relación de los sólidos disueltos totales (TDS) con los valores de k para diferentes tipos de agua.10

Figura 6.2. Diagrama de cajas y bigotes13

Figura 6.3. Curva granulométrica acumulada continúa16

Figura 7.1. Esquema de distribución de puntos evaluados en el área de influencia de la C.H. Cahua36

Figura 7.2. Valores de potencial de hidrogeno (pH) comparada con los ECA para Agua (2017) categoría 3: D1 y D237

Figura 7.3. Valores de sólidos totales disueltos38

Figura 7.4. Valores de sólidos totales suspendidos38

Figura 7.5. Relación lineal entre la conductividad y los sólidos disueltos totales (SDT) de los puntos de muestreo evaluados en junio, julio y setiembre 2019.....39

Figura 7.6. Diagrama biplot de los Factores 1 y 2 de las cargas (parámetros fisicoquímicos) y las puntuaciones estandarizadas correspondiente al total de puntos de muestreo de junio, julio y setiembre de 2019 en el río Pativilca en el tramo de influencia de la C.H. Cahua.....43

Figura 7.7. Diagrama biplot de los Factores 1 y 2 de las cargas (STD Y SST) y las puntuaciones estandarizadas correspondiente al total de puntos de muestreo de junio, julio y setiembre de 2019 en el río Pativilca, en el tramo de influencia de la C.H. Cahua43

Figura 7.8. Diagrama de cajas y bigotes para potencial de hidrógeno (pH) por zonas .44

Figura 7.9. Diagrama de cajas y bigotes para variación de a) C.E., b) temperatura, c) bicarbonato, d) nitratos, e) DQO y f) carbono orgánico total por zonas45

Figura 7.10. Diagrama de cajas y bigotes para variación de fósforo total por zonas46

Figura 7.11. Diagrama de cajas y bigotes para variación de hierro total por zonas46

Figura 7.12. Distribución granulométrica de los sedimentos evaluados – junio 201948

Figura 7.13. Distribución granulométrica de los sedimentos evaluados – julio 201948

Figura 7.14. Distribución granulométrica de los sedimentos evaluados – setiembre 201948

Figura 7.15. Presencia de materia orgánica en los sedimentos evaluados en junio, julio y setiembre 201949

Figura 7.16. Diagrama biplot de los factores 1 y 2 de las cargas de metales y las puntuaciones estandarizadas correspondiente al total de puntos en junio, julio y setiembre de 2019 en el río Pativilca en el tramo de influencia de la C.H. Cahua51

Figura 7.17. Diagrama de cajas y bigotes de concentración metales en sedimentos: a) arsénico, b) calcio, c) hierro, d) aluminio, e) cromo y f) plomo52

Figura 7.18. Gráfico de barras para los puntajes en la valoración de estaciones de referencias del CERA (Acosta, 2009).....54

Figura 7.19. Composición porcentual de especies de perifiton por zonas y temporadas55

Figura 7.20. Curva de acumulación de especies para perifiton – junio 201956

Figura 7.21. Curva de acumulación de especies para perifiton – julio 2019.....56

Figura 7.22. Curva de acumulación de especies para perifiton – setiembre 201957

Figura 7.23. Gráfico de cajas del índice de Shannon - Wiener (H') para la comunidad de perifiton – junio 2019.....58

Figura 7.24. Gráfico de cajas del índice de Shannon - Wiener (H') para la comunidad de perifiton – julio 2019.....58



Figura 7.25. Gráfico de cajas del índice de Shannon - Wiener (H') para la comunidad de perifiton – setiembre 201959

Figura 7.26. Gráfico de cajas de la Equidad de Pielou (J') para la comunidad de perifiton – junio de 201960

Figura 7.27. Gráfico de cajas de la Equidad de Pielou (J') para la comunidad de perifiton – julio 2019.....61

Figura 7.28. Gráfico de cajas de la Equidad de Pielou (J') para la comunidad de perifiton - setiembre 201961

Figura 7.29. Gráfico de cajas del logaritmo natural de la abundancia (Ln(N)) para la comunidad de perifiton – junio 2019.....62

Figura 7.30. Gráfico de cajas del logaritmo natural de la abundancia (Ln(N)) para la comunidad de perifiton – julio 2019.....63

Figura 7.31. Gráfico de cajas del logaritmo natural de la abundancia (Ln(N)) para la comunidad de perifiton - setiembre 201963

Figura 7.32. NMDS para la comunidad de perifiton - junio 201965

Figura 7.33. NMDS para la comunidad de perifiton – julio 201966

Figura 7.34. NMDS para la comunidad de perifiton – setiembre 201967

Figura 7.35. CCA para los parámetros de calidad de agua y la comunidad de perifiton - zonas.....68

Figura 7.36. CCA para los parámetros de calidad de agua y la comunidad de perifiton - temporadas68

Figura 7.37. CCA para los parámetros de sedimentos y la comunidad de perifiton - zonas69

Figura 7.38. CCA para los parámetros de sedimentos y la comunidad de perifiton - temporadas70

Figura 7.39. Gráfico de barras porcentual para la composición del Phylum Insecta de macroinvertebrados bentónicos71

Figura 7.40. Curva de acumulación de especies para macroinvertebrados bentónicos - junio 2019.....72

Figura 7.41. Curva de acumulación de especies para macroinvertebrados bentónicos – julio 2019.....73

Figura 7.42. Curva de acumulación de especies para macroinvertebrados bentónicos – setiembre 201973

Figura 7.43. Gráfico de cajas del índice de Shannon - Wiener (H') para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos – junio 2019.....74

Figura 7.44. Gráfico de cajas del índice de Shannon - Wiener (H') para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos – julio 2019.....74

Figura 7.45. Gráfico de cajas del índice de Shannon - Wiener (H') para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos - setiembre 201975

Figura 7.46. Gráfico de cajas de la Equidad de Pielou (J') para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos – junio 2019.....76

Figura 7.47. Gráfico de cajas de la Equidad de Pielou (J') para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos – julio 2019.....77

Figura 7.48. Gráfico de cajas de la Equidad de Pielou (J') para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos - setiembre 201977

Figura 7.49. Gráfico de cajas del logaritmo natural de la abundancia Ln(N) para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos – junio 2019.....79

Figura 7.50. Gráfico de cajas del logaritmo natural de la abundancia (Ln(N)) para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos – julio 2019.....79

Figura 7.51. Gráfico de cajas del logaritmo natural de la abundancia Ln(N) para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos – setiembre 201980



Figura 7.52. Gráfico de barras para los puntajes del ABI.....81

Figura 7.53. Gráfico de barras para los puntajes del LIFE82

Figura 7.54. Número de familias encontradas en cada categoría del LIFE82

Figura 7.55. Escalamiento multidimensional no métrico para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos – junio 2019.....83

Figura 7.56. Escalamiento multidimensional no métrico para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos – julio 2019.....84

Figura 7.57. Escalamiento multidimensional no métrico para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos – setiembre 201984

Figura 7.58. CCA usando parámetros de calidad de agua y macroinvertebrados bentónicos - zonas.....85

Figura 7.59. CCA para los parámetros de calidad de agua y la comunidad de macroinvertebrados bentónicos - temporadas86

Figura 7.60. CCA para los parámetros de sedimentos y la comunidad de macroinvertebrados bentónicos - zonas87

Figura 7.61. CCA para los parámetros de sedimentos y la comunidad de macroinvertebrados bentónicos - temporadas87

Figura 7.62. Histograma para las tallas de camarones con intervalos de 0,5 cm.....88

Figura 7.63. Histograma para las tallas de camarones con intervalos de 1 cm.....89

Figura 7.64. Relación alométrica entre los valores de longitud (cm) y peso (g) para camarones machos.....90

Figura 7.65. Relación alométrica entre los valores de longitud (cm) y peso (g) para camarones hembras y juveniles90

Figura 7.66. Gráfico de cajas para el factor de condición (FC) de machos91

Figura 7.67. Gráfico de cajas para el factor de condición (FC) de hembras y juveniles..91

Figura 7.68. Distribución de abundancias de machos, hembras y juveniles por zonas y temporadas92

Figura 7.69. Ejemplar de *Trichomycterus* sp.93

Figura 7.70. Histograma de tallas de *Trichomycterus* sp.94

Figura 7.71. Ejemplar de *Basilichthys semotilus*94

Figura 7.72. Histograma de tallas de *Basilichthys semotilus*95

Figura 7.73. Ejemplar de *Lebiasina bimaculata*.....96

Figura 7.74. Diagrama de cajas para la temperatura por cada zona y temporada.....97

Figura 7.75. Temperatura vs gráfico lineal para el caudal por cada zona y temporada ..97

Figura 7.76. Diagrama cajas para el pH por zonas y temporadas98

Figura 7.77. Diagrama de cajas para la conductividad eléctrica por zonas y temporadas99

Figura 7.78. Diagrama de cajas para el oxígeno disuelto por zonas y temporadas99

Figura 7.79. Diagrama de cajas de alcalinidad por zonas y temporadas..... 100

Figura 7.80. Diagrama de cajas para los sólidos totales disueltos (STD) por zonas y temporadas..... 100

Figura 7.81. Diagrama de cajas para los sólidos totales suspendidos por zonas y temporadas 101

Figura 7.82. Diagrama de cajas para la turbidez por zonas y temporadas..... 102

Figura 7.83. Regresión entre sólidos en suspensión y turbidez..... 102

Figura 7.84. Diagrama de cajas para la mediana de la profundidad por zonas y temporadas 103

Figura 7.85. Diagrama de cajas para el ancho promedio por zonas y temporadas..... 103

Figura 7.86. Comparación entre los valores de caudal y el ancho mojado promedio .. 104

Figura 7.87. Diagrama de cajas de velocidad mediana por zonas y temporadas 104

Figura 7.88. Comparación entre los valores de caudal y la velocidad..... 105



Figura 7.89.	Composición granulométrica en junio 2019	107
Figura 7.90.	Composición granulométrica en julio 2019	107
Figura 7.91.	Composición granulométrica en setiembre 2019	108
Figura 7.92.	Composición granulométrica en octubre 2019	108
Figura 7.93.	Registro de incrustamientos encontrados	109
Figura 7.94.	Curva ROC para el modelo de presencia de <i>Cryphiops caementarius</i> en la zona I	110
Figura 7.95.	Árbol de decisión para el conjunto de variables de hábitat en la zona I ...	111
Figura 7.96.	Habitabilidad de <i>Cryphiops caementarius</i> en relación con el área disponible	112
Figura 7.97.	Habitabilidad de <i>Cryphiops caementarius</i> en relación con el área disponible generada por la relación caudal-área.....	112
Figura 7.98.	Curva ROC para el modelo de presencia de <i>Cryphiops caementarius</i> en la zona II (presencia/ausencia).....	114
Figura 7.99.	Árbol de decisión para el conjunto de variables de hábitat en la zona I ...	114
Figura 7.100.	Curva ROC para el modelo de habitabilidad óptima de <i>Cryphiops caementarius</i> en la zona II.....	116
Figura 7.101.	Árbol de decisión para el conjunto de variables de hábitat en la zona II	117
Figura 7.102.	Habitabilidad, habitabilidad óptima y habitabilidad total de <i>Cryphiops caementarius</i> en la zona II.....	118
Figura 7.103.	Habitabilidad de <i>Cryphiops caementarius</i> en área disponible generada por relación caudal área en la zona II.....	118
Figura 7.104.	Curva ROC para el modelo de presencia de <i>Cryphiops caementarius</i> en la zona III	120
Figura 7.105.	Árbol de decisión para el conjunto de variables de hábitat en la Zona III (zona de influencia) para la presencia de <i>Cryphiops caementarius</i>	121
Figura 7.106.	Curva ROC para el modelo de abundancia de <i>Cryphiops caementarius</i> en la zona III	122
Figura 7.107.	Árbol de decisión para el conjunto de variables de hábitat en la zona III. 123	
Figura 7.108.	Habitabilidad, habitabilidad óptima y habitabilidad total de <i>Cryphiops caementarius</i> en relación con el área disponible en la zona III	124
Figura 7.109.	Habitabilidad, habitabilidad óptima y habitabilidad total de <i>Cryphiops caementarius</i> relación al área caudal en la zona III.....	124
Figura 8.1.	Perfil longitudinal del cauce del río Pativilca y distribución de zonas	125
Figura 8.2.	Morfología del lecho del cauce del río Pativilca evaluado por zonas	126
Figura 8.3.	Derecho de uso de agua cuenca media y alta del río Pativilca	127
Figura 8.4.	Caudal medio mensual de un año húmedo en la estación Yanapampa ..	127
Figura 8.5.	Caudal medio mensual de un año promedio en la estación Yanapampa	128
Figura 8.6.	Caudal medio mensual de un año húmedo en la estación Yanapampa ..	128
Figura 8.7.	Variación de precipitación total mensual histórica (1981-2016)	129
Figura 8.8.	Hidrograma de caudales históricos medios en la estación Yanapampa I (1981-2008)	130
Figura 8.9.	Hidrograma de caudales históricos en la estación Yanapampa I.....	131
Figura 8.10.	Hidrograma de caudales diarios aforados durante la evaluación 2019	131
Figura 8.11.	Clasificación cualitativa de los índices globales.....	132
Figura 8.12.	Condiciones hidromorfológicas de las zonas evaluadas	132
Figura 8.13.	Relación solidos totales suspendidos (barras) con abundancia de comunidad de perifiton (líneas)	133
Figura 8.14.	Diferencia e índice de Life por zonas	134
Figura 8.15.	Porcentaje de hábitat o área versus caudal	136



1. INTRODUCCIÓN

El presente informe corresponde a la evaluación ambiental realizada durante el 2019 en el área de influencia¹ de la Central Hidroeléctrica Cahua (en adelante, C.H. Cahua) de la empresa Statkraft Perú S.A., en adición a dicha área se consideró 2 tramos del río Pativilca de aproximadamente 2,5 km aguas arriba del punto de captación y de aproximadamente 5,0 km aguas abajo de la restitución de aguas turbinadas.

La C.H. Cahua ubicada en la margen izquierda del río Pativilca en el distrito Manas, provincia Cajatambo, departamento Lima desvía las aguas del mencionado río mediante una bocatoma construida en el cauce del río, siendo conducidas por un canal de aducción de aproximadamente 8 km hasta una cámara de carga, para finalmente, desembocar en el río Pativilca, a su vez, cuenta con un caudal de diseño de 22,0 m³/s para una potencia instalada de 43,0 MW (2 turbinas de generación).

Hidrográficamente, la C.H. Cahua se encuentra ubicada en la cuenca media del río Pativilca, forma parte de la unidad hidrográfica cuenca Pativilca y pertenece a la vertiente del Pacífico. El río Pativilca es caracterizado por la presencia de «camarón de río» y en los últimos años se han registrado denuncias por una posible afectación de dicho recurso debido a la ausencia de paso de un caudal ecológico², una de las denuncias fue trasladada al Organismo de Evaluación y Fiscalización ambiental – OEFA mediante oficio N.º 161-2018-GRL/GRRRNGMA³.

La Dirección de Supervisión Ambiental en Energía y Minas – DSEM, mediante Memorandum N.º 4242-2018-OEFA/DSEM, solicitó a la Dirección de Evaluación Ambiental – DEAM la evaluación ambiental relacionada a estudios hidrobiológicos, hidrológico y caudal ecológico.

En ese contexto la Dirección de Evaluación Ambiental (DEAM) del OEFA realizó la presente evaluación con el objetivo de determinar el caudal ecológico y preferencia de hábitat del «camarón de río» para lo cual también se evaluó la calidad de agua superficial, sedimento y comunidades hidrobiológicas.

Para la evaluación se realizó 3 monitoreos de agua superficial, sedimento y comunidades hidrobiológicas en los meses de junio, julio y setiembre de 2019 y 4 monitoreos de mediciones hidráulicas de unidades hidromorfológicas (UHM) y colecta de camarones en los meses mencionados además del mes de octubre de 2019.

Además, el estudio consideró el análisis de registro histórico de precipitaciones y caudales; asimismo, se analizó el estado de regulación del río Pativilca debido a la presencia de represas y captaciones en la parte media y alta de la cuenca. Para obtener la geometría hidráulica del cauce del río donde se realizaron la colecta de camarones se realizó también un vuelo fotogramétrico (mediante dron) con el que se obtuvieron orto mosaicos de las áreas evaluadas.

Para determinar el caudal ecológico se utilizó el modelo de uso de hábitat MesoHABSIM, con principio similar a los modelos hidráulicos tradicionales (PHABSIM, RHABSIM,

¹ El área de influencia está definida en el informe del Programa de Adecuación de Manejo Ambiental-PAMA para la generación de energía eléctrica desarrollada en la Central Hidroeléctrica de Cahua, aprobado por la Dirección General de Electricidad del Ministerio de Energía y Minas, mediante Resolución Directoral N.º 083-97-EM/DGE del 12 de marzo de 1997.

² La Agrupación de Camaroneros «San Jerónimo», solicitó a la Gerencia Regional de Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente del Gobierno Regional-GORE Lima, la supervisión ambiental de la C.H. Cahua que desarrollan actividades en el río Pativilca. Registro DOC 1051895, EXP 707954 en el Gobierno Regional GORE Lima.

³ El 17 de agosto de 2018, el Gobierno Regional de Lima trasladó la solicitud al Organismo de Evaluación y Fiscalización ambiental – OEFA, Dirección de Supervisión Ambiental en Energía y Minas – DSEM, en la que solicita su participación en el marco de sus funciones.



HARPHA, etc.) sin embargo, en los modelos tradicionales el proceso de simulación se basa en la descripción, caracterización e identificación de las preferencias de uso con respecto a los distintos microhábitats presentes en el curso de agua, mientras que el MesoHABSIM depende de la disponibilidad y preferencia de unidades mayores en términos espaciales, los mesohábitats o unidades hidromorfológicas (en adelante, UHM) que tienen distintos tipos de comportamiento hidráulico en el cauce (rápidos, remansos, estanques, caídas, tablas rasas, etc.) y dependen fundamentalmente del volumen de agua fluyendo (caudal), la pendiente y otros factores geomorfológicos.

Es importante mencionar que todas las actividades programadas en el presente estudio fueron realizadas dentro del marco de la función evaluadora del OEFA y el presente informe de evaluación ambiental constituirá un soporte técnico por parte de la Dirección de Evaluación Ambiental – DEAM del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA para una efectiva y oportuna supervisión y fiscalización ambiental posterior.

2. ANTECEDENTES

La C.H. Cahua inicio sus operaciones en el año 1967 a cargo de la compañía privada Hidrandina. En 1994 se estableció la compañía Cahua S.A. En el 2003, Cahua S.A. fue adquirida por SN Power Perú. Finalmente, en el 2014, Statkraft S.A toma el control de sus activos y operación hasta la actualidad, C.H. Cahua es una central hidroeléctrica de pasada que aprovecha las aguas del río Pativilca siendo operada desde el 2014 de manera remota desde un centro de control en Lima.

La C.H. Cahua cuenta con un Programa de Adecuación de Manejo Ambiental (en adelante, PAMA), aprobado por la Dirección General de electricidad del ministerio de Energía y Minas, mediante Resolución Directoral N.º 083-97-EM/DGE del 12 de marzo de 1997.

Asimismo, cuenta con derechos de uso de agua otorgados por la Autoridad Nacional del Agua – ANA mediante R.D. N.º 0107-2011-DARH del 5 de julio de 2011⁴; R.D. N.º 1480-2017-DARH del 18 de julio de 2017⁵ y R.D. N.º 0538-2017-DARH del 13 de marzo de 2017⁶.

El 6 de noviembre de 2018, la Dirección de Supervisión Ambiental en Energía y Minas – DSEM, mediante Memorandum N.º 4242-2018-OEFA/DSEM, solicitó a la Dirección de Evaluación Ambiental – DEAM la evaluación ambiental relacionada a estudios hidrobiológicos, hidrológico y caudal ecológico así como el acompañamiento en las acciones de supervisión especial⁷ por presunta afectación a las comunidades hidrobiológicas en la cuenca del río Pativilca⁸; debido a la supuesta ausencia de paso de un caudal ecológico por la captación de C.H. Cahua de la empresa Statkraft Perú S.A.

⁴ Licencia de uso de agua con fines energéticos para la Central Hidroeléctrica Cahua, captadas en las coordenadas UTM (DATUM WGS 84) 8844832 m Norte y 296175 m Este y devueltas en las coordenadas UTM (DATUMWGS 84) 8830265 m Norte y 246784 m Este hasta por un volumen anual de hasta 611,622 MMC (millones de metros cúbicos).

⁵ Licencia de uso de agua con fines energéticos para la Central Hidroeléctrica Cahua superficial de la Laguna Viconga por un volumen anual de hasta 28 MMC.

⁶ Licencia de uso de agua con fines energéticos para la Central Hidroeléctrica Cahua, con recursos provenientes de la Laguna Collorcocha de hasta un volumen anual de hasta 0,5 MMC.

⁷ Los resultados de dicha diligencia realizada del 3 al 7 de diciembre de 2018 se encuentran en el Informe N.º 0369-2018-OEFA-DEAM-STEC.

⁸ Dicha solicitud está basada en el DOC 1051895, EXP 707954, presentada por la Agronomía de Camaroneros «San Jerónimo» a la Gerencia Regional de Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente del Gobierno Regional GORE Lima; en el cual solicitan la supervisión ambiental de la C.H. Cahua. La agronomía aduce una posible afectación del recurso «camarón de río» debido a la ausencia de paso de un caudal ecológico. GORE Lima trasladada al OEFA dicha solicitud mediante Oficio N.º 161-2018-GRL/GRRRNGMA.



En atención al pedido de la DSEM, la DEAM realizó una visita de acompañamiento a la DSEM del 3 al 7 de diciembre de 2018, cuyos resultados fueron reportados en el informe N.º 369-2018-OEFA/DEAM-STEC.

En el 2019, con la finalidad de profundizar y recabar información del ámbito de la C.H. Cahua, la DEAM realizó el reconocimiento en dicha zona del 1 al 2 de abril de 2019. Los puntos de evaluación identificados se encuentran en el Informe N.º 00198-2019-OEFA/DEAM-SSIM.

Finalmente, en cumplimiento del plan de evaluación ambiental, aprobado mediante Informe N.º 00264-2019-OEFA/DEAM-SSIM se realizó la presente evaluación.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Determinar el caudal ecológico mediante el método holístico MesoHABSIM y el estado de la calidad del río Pativilca, tramo de influencia de la Central hidroeléctrica Cahua, ubicada en el distrito Manás, provincia Cajatambo, departamento Lima - 2019.

3.2 Objetivos específicos

- Evaluar la calidad del agua, sedimentos y comunidades hidrobiológicas en el río Pativilca, comprendido en el tramo, antes de la captación de agua de la C.H. Cahua y posterior a la restitución de aguas turbinadas.
- Determinar el caudal ecológico y la preferencia de hábitat del «camarón de río» en el río Pativilca mediante el método holístico MesoHABSIM, tramo de influencia de la central hidroeléctrica Cahua.

4. ÁREA DE ESTUDIO

La C.H. Cahua se encuentra ubicada políticamente en el distrito Manás, provincia de Cajatambo, departamento Lima sobre la margen izquierda del río Pativilca, a una altitud de 922 m s. n. m. Hidrográficamente se encuentra ubicada en la cuenca media del río Pativilca (U.H. 137583). El río Pativilca forma parte de la unidad hidrográfica cuenca Pativilca y pertenece a la vertiente del Pacífico.

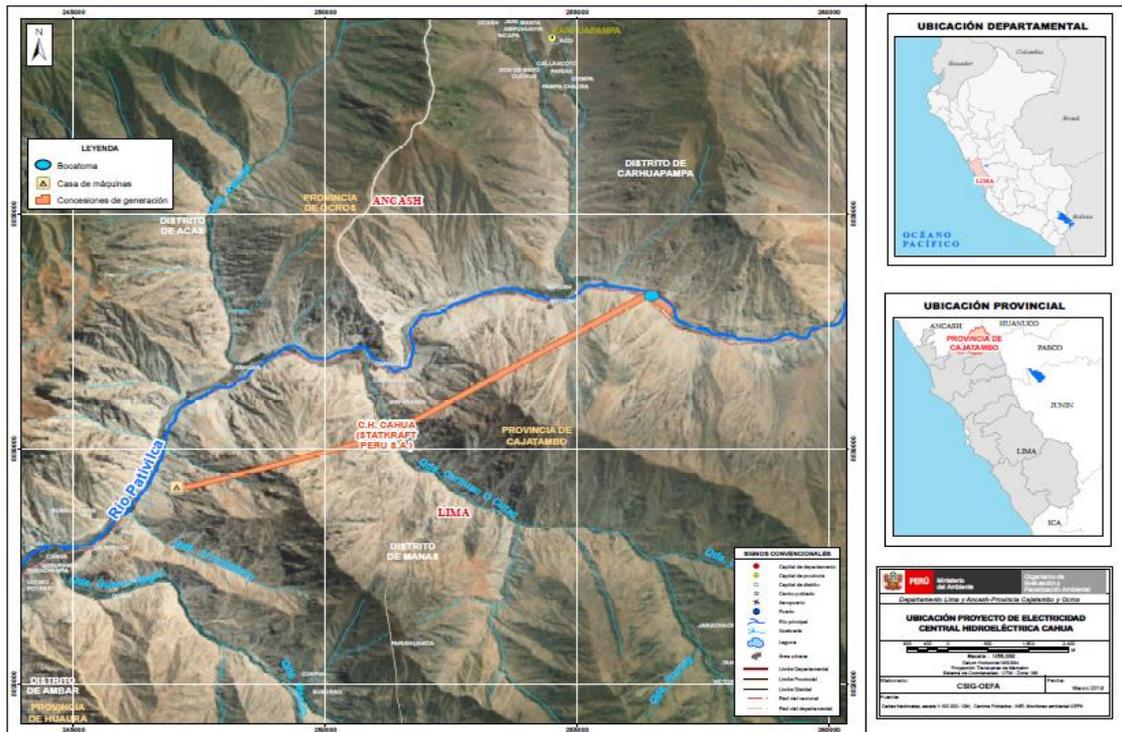


Figura 4.1. Mapa de ubicación de la C.H. Cahua

El área de estudio para la evaluación abarcó el área de influencia de la C.H. Cahua⁹ y tramos del río Pativilca de aproximadamente 2,5 km aguas arriba del punto de captación y de aproximadamente 5,0 km aguas abajo de la restitución de aguas turbinadas, dicho tramo fue distribuido en 3 zonas:

La zona I «zona de control» corresponde al tramo evaluado del río Pativilca antes de la captación de la C.H. Cahua. Dicha zona comprende: 3 puntos de muestreo de agua superficial, 3 puntos de muestreo de sedimentos, 8 puntos de muestreo de comunidades hidrobiológicas y 14 secciones de aforo de caudal y 7 UHM de colecta de camarones.

La zona II «zona de caudal reducido» comprende el tramo del río Pativilca donde se reduce el caudal por la derivación del agua hacia la casa de máquinas de la C.H. Cahua. Dicha zona comprende: 3 puntos de muestreo de agua superficial, 3 puntos de muestreo de sedimentos, 9 puntos de muestreo de comunidades hidrobiológicas y 24 secciones de aforo de caudal y 12 UHM de colecta de camarones.

La zona III «zona de influencia» corresponde al tramo del río Pativilca después de la restitución del agua turbinada. Dicha zona comprende: 2 puntos de muestreo de agua turbinada, 2 puntos de muestreo agua superficial, 2 puntos de sedimentos, 4 puntos de comunidades hidrobiológicas y 20 secciones de aforo de caudal y 10 UHM de colecta de camarones. Adicionalmente comprende 5 puntos de muestreo solo de macroinvertebrados bentónicos¹⁰.

⁹ Área comprendida desde la captación hasta la toma de agua hasta la casa de máquinas, no cuenta con una delimitación ni extensión precisada en el PAMA

¹⁰ Los puntos evaluados corresponden a la zona de control evaluada en el área de influencia de la C.H. Yanapampa, realizada durante el año 2019.



Figura 4.2. Área de estudio distribuido por zonas

5. CONTEXTO SOCIAL

La C.H. Cahua se encuentra ubicada en el centro poblado de Cahua en el distrito Manas, en la provincia Cajatambo; entre el límite de los departamentos Áncash y Lima. El centro poblado Cahua cuenta con 308 habitantes y 160 viviendas¹¹. La principal actividad económica de este centro poblado es la agricultura seguida de la pecuaria (CENPRED, 2017). Actualmente se tiene deficiencia de servicios básicos, principalmente de agua y desagüe. Respecto a las actividades de pesca de camarones, en su mayoría son realizados de manera artesanal para consumo y/o comercio local (venta en restaurantes). No cuentan con una organización de camaroneros propia, pero si algunas personas pertenecen a la agremiación local de camarones de Pativilca (Carrillo, Pacora, Risco, y Zerpa, 2012).

6. METODOLOGÍA

En esta sección se presenta la información de la metodológica aplicada en la evaluación ambiental para determinar el caudal ecológico y el estado de calidad del río Pativilca en el tramo de influencia de la C.H. Cahua. La estructura del presente ítem está dividida por componentes evaluados (agua, sedimentos, comunidades hidrobiológicas y determinación del caudal ecológico y preferencia de hábitat del camarón).

Cabe indicar que se realizaron 3 ejecuciones de monitoreos de agua superficial, sedimento y comunidades hidrobiológica; del 3 al 9 de junio de 2019¹²; del 16 al 20 de julio de 2019¹³ y del 5 al 10 de setiembre de 2019¹⁴, durante dichos monitoreos se realizaron también colecta de camarones y mediciones de la geometría hidráulica por unidades hidromorfológicas (UHM); adicionalmente del 27 de setiembre al 1 de octubre de 2019 se

¹¹ Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), de acuerdo con el Censo Peruano 2017.

¹² Anexo 2: reporte de campo N.º 0335-2019-SSIM.

¹³ Anexo 3: reporte de campo N.º 0336-2019-SSIM.

¹⁴ Anexo 4: reporte de campo N.º 0432-2019-SSIM.



realizó un vuelo fotogramétrico en los tramos evaluados del río Pativilca¹⁵ y también se realizó colecta de camarones en las UHM¹⁶.

6.1 Agua

En los apartados siguientes se presenta la metodología desarrollada para evaluar la calidad de agua superficial y agua turbinada¹⁷. Esta metodología comprende el procedimiento para la toma de muestras, la ubicación de los puntos de muestreo, los parámetros y métodos de análisis, equipos utilizados, aseguramiento de la calidad, criterios de comparación y procesamiento de datos.

6.1.1 Guías utilizadas para la evaluación

La metodología aplicada para la evaluación de agua superficial y agua turbinada se enmarcó en el Capítulo 6: «Monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales» del «Protocolo Nacional para el Monitoreo de Calidad de Recursos Hídricos Superficiales»¹⁸, donde se establecen los criterios técnicos y lineamientos generales a aplicarse en las actividades de monitoreo de la calidad de agua. El detalle de las secciones utilizadas se presenta en la Tabla 6.1.

Tabla 6.1. Referencias para el muestreo de agua superficial y agua turbinada

Referencia	Sección	País	Institución	Dispositivo legal	Año
Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales	Sección 6, ítem 6.1, 6.2, 6.3(a), 6.4, 6.8, 6.9, 6.10, 6.11, 6.14, 6.15 (a, b, e), 6.16, 6.17, 6.18* y 6.19	Perú	Autoridad Nacional del Agua (ANA)	Resolución Jefatural N.º 010-2016-ANA	2016

Nota: Cabe señalar que también se consideraron los requerimientos establecidos por el laboratorio acreditado encargado de la analítica.

(*) Solo consideró como control de calidad los duplicados de campo.

6.1.2 Ubicación de puntos de muestreo

Para la ubicación de los puntos de muestreo de agua se consideró como referencia aquellos puntos declarados en el PAMA del administrado, los que fueron complementados con puntos establecidos en gabinete y validados en campo.

Se plantearon 8 puntos de muestreo de agua superficial y 2 puntos de muestreo de agua turbinada, los cuales se detallan en la Tabla 6.2 y en la Tabla 6.3. La distribución espacial de los puntos se puede observar en el Anexo 1 (mapas de ubicación de puntos de muestreo y zonas evaluadas).

Tabla 6.2. Ubicación de los puntos de muestreo de agua superficial

N.º	Cuerpo receptor	Puntos de muestreo	Coordenadas UTM		Descripción
			WGS-84 Zona 18 L		
			Este (m)	Norte (m)	
1	Río Pativilca	RPat-1	256778	8833000	Aguas arriba de la bocatoma de la C.H. Cahua, aproximadamente a 200 m
2		RPat-2	256129	8833335	Aguas abajo de la bocatoma de la C.H. Cahua, aproximadamente a 600 m
3		RPat-3	246876	8830529	Aguas arriba de la casa de máquinas de la C.H. Cahua aproximadamente a 500 m
4		RPat-4	246721	8829751	Aguas abajo de la casa de máquinas de la C.H. Cahua aproximadamente a 500 m

¹⁵ Anexo 8: reporte de campo N.º 0500-2019-SSIM.

¹⁶ Anexo 15: lista de colecta de camarones en octubre 2019

¹⁷ De acuerdo con el Art. 87 del Decreto Supremo N.º 014-2019-EM del 7 de julio de 2019. «El agua turbinada que proviene de la operación de una central hidroeléctrica no es considerada agua residual ni efluente. Sin perjuicio de ello, debe ser monitoreada aguas arriba y aguas abajo del cuerpo receptor con una periodicidad semestral a efectos de controlar la calidad ambiental, de acuerdo con las condiciones establecidas en el Estudio Ambiental o Instrumento de Gestión Ambiental complementario».

¹⁸ Aprobado el 11 de enero de 2016 mediante Resolución Jefatural N.º 010-2016-ANA.



N.º	Cuerpo receptor	Puntos de muestreo	Coordenadas UTM		Descripción
			WGS-84 Zona 18 L		
			Este (m)	Norte (m)	
5		RPat-10	256960	8832641	Aguas arriba de la bocatoma de la C.H. Cahua, aproximadamente a 600 m
6		RPat-11	257213	8832579	Aguas arriba de la bocatoma de la C.H. Cahua, aproximadamente a 800 m
7		RPat-18	244481	8827937	Aguas abajo de la casa de máquinas de la C.H. Cahua aproximadamente a 3,3 km
8	Quebrada Carhuan	QCar-1	250717	8831927	Quebrada Carhuan, a altura del puente Carhuan

Nota: todos los puntos de muestreo se realizaron en junio, julio y setiembre de 2019.

Anexo 2: reporte de campo N.º 0335-2019-SSIM; Anexo 3: reporte de campo N.º 0336-2019-SSIM y Anexo 4: reporte de campo N.º 0432-2019-SSIM.

Tabla 6.3. Ubicación de los puntos de muestreo de agua turbinada

N.º	Código OEFA	Coordenadas UTM		Descripción
		WGS84 – Zona 18 L		
		Este (m)	Norte (m)	
1	EFLU-1A	246851	8830259	Punto ubicado en la margen izquierda del río Pativilca*, a la altura de la casa de máquinas de C.H. Cahua, aproximadamente a 3,5 km del centro poblado Cahua.
2	EFLU-1B	246835	8830239	Punto ubicado en la margen izquierda del río Pativilca*, a la altura de la casa de máquinas de C.H. Cahua, aproximadamente a 5 m aguas arriba del punto EFLU-1A.

Nota: los puntos de muestreo se realizaron en junio, julio y setiembre de 2019.

Anexo 2: reporte de campo N.º 0335-2019-SSIM; Anexo 3: reporte de campo N.º 0336-2019-SSIM y Anexo 4: reporte de campo N.º 0432-2019-SSIM.

(*) Los puntos fueron tomados en el canal de descarga de aguas turbinadas de C.H. Cahua.

6.1.3 Parámetros y métodos de análisis

En los puntos de muestreo se realizaron mediciones *in situ* de los parámetros de campo: potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (CE), oxígeno disuelto (OD) y temperatura (T).

En la Tabla 6.4 se presentan los parámetros y métodos de análisis considerados por los laboratorios acreditados ante el Instituto Nacional de Calidad (Inacal).

Tabla 6.4. Parámetros considerados para la evaluación de agua superficial y agua turbinada (junio 2019)

N.º	Parámetros	Método de ensayo de referencia	Laboratorio de ensayo acreditado
1	Clorofila A	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 10200 H, ítem 1 y 2, 23rd Ed. 2017	TYPSA PERÚ
2	PCB-Bifenilos policlorados	EPA METHOD 8082 A, Rev. 1 2007	
3	Aceites y grasas	ASTM D7066-04 (Validado), 2011	
4	Carbonato (s)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 9221 E 1, 23 rd Ed.2017	
5	Bicarbonato (s)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 9221 E 1, 23 rd Ed.2017	
6	Silicatos	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. 4500- SiO ₂ D, 23rd Ed.2017.Validado.	
7	Cianuro WAD	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. 4500-CN F, I, 23rd Ed.2017	
8	Sólidos suspendidos totales - STS	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. 2540 D, 22 nd. Ed.2012	
9	Sólidos totales disueltos - STD	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. 2540 D, 22 nd. Ed.2012	
10	Detergentes Aniónicos SAAM	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. 5540 C, 23rd Ed.2017	
11	Nitrógeno amoniacal (Amoniaco-N(NH ₃ -N))	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NH ₃ F, 23rd Ed.2017	
12	Fósforo total	EPA METHOD 365.3, 1983	
13	Nitratos	EPA METHOD 300.1 B, Rev.1 2015	



«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad»

N.º	Parámetros	Método de ensayo de referencia	Laboratorio de ensayo acreditado
14	Nitrógeno total	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. 4500 N C, 23rd Ed.2017	ALS LS PERU S.A.C.
15	Carbono orgánico total	APHA 5310B, Versión 02, 2013	
16	Cloruro (s)	EPA METHOD 300.1 B, Rev.1 2015	
17	Fluoruro (s)	EPA METHOD 300.1 B, Rev.1 2015	
18	Fenoles	EPA SW-846 Method 9065, 1986	
19	Sulfato (s)	EPA METHOD 300.1 B, Rev.1 2015	
20	Sulfuro (s)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 2540 D, 22 nd Ed. 2012.	
21	DBO ₅	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 5210 B, 23 rd Ed. 2017.	
22	DQO	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 5220 B, 23 rd Ed. 2017.	
23	Pesticidas Organoclorados	EPA METHOD 8081 B, Rev.2 2007	
24	Pesticidas Organofosforados	EPA METHOD 8270 D, Rev.5, 2014	
25	Coliformes totales	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 9221 B y C. 23rd Ed. 2017.	
26	Coliformes termotolerantes	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 9221 23rd Ed. 2017.	
27	Metales Totales por ICP-MS incluido Hg	EPA 6020A, Rev. 1 February 2007	
28	Metales Disueltos por ICP-MS incluido Hg	EPA 6020A, Rev. 1 February 2007	

Nota: Informes de ensayo del laboratorio ALS PERU S.A.C y TYP SA PERÚ (anexos 2, 3 y 4).

Tabla 6.5. Parámetros considerados para la evaluación de agua superficial y agua turbinada (julio y setiembre 2019)

N.º	Parámetros	Método de ensayo de referencia	Laboratorio de ensayo acreditado
1	Clorofila A	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 10200 H, ítem 1 y 2, 23rd Ed. 2017	TYP SA PERÚ
2	PCB-Bifenilos policlorados	EPA METHOD 8082 A, Rev. 1 2007	ALS LS PERU S.A.C.
3	Aceites y grasas	ASTM D7066-04 (Validado), 2011	
4	Carbonato (s)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 9221 E 1, 23 rd Ed.2017	
5	Bicarbonato (s)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 9221 E 1, 23 rd Ed.2017	
6	Silicatos*	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. 4500- SiO ₂ D, 23rd Ed.2017.Validado.	
7	Fenoles*	EPA SW-846 Method 9065, 1986	
8	Cianuro WAD*	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. 4500-CN F, I, 23rd Ed.2017	
9	Carbono orgánico total	APHA 5310B, Versión 02, 2013	
10	DBO ₅	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 5210 B, 23 rd Ed. 2017.	
11	DQO	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 5220 B, 23 rd Ed. 2017.	
12	Coliformes totales*	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 9221 B y C. 23rd Ed. 2017.	
13	Coliformes termotolerantes	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 9221 23rd Ed. 2017.	
14	Cloruro (s)	PE-2090 Rev. 8 2017 Cromatografía iónica	
15	Fluoruro (s)	PE-2090 Rev. 8 2017 Cromatografía iónica	
16	Sulfato (s)	EPA METHOD 300.1 B, Rev.1 2015	
18	Sulfuro (s)*	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 4500-S2-D, 23 rd Ed. 2017.	
19	Metales Totales por ICP-MS incluido Hg	EPA Method 200.8 Rev. 5.4 (1994) ICP-MS	
20	Metales Disueltos por ICP-MS incluido Hg	EPA Method 200.8 Rev. 5.4 (1994) ICP-MS	
21	Sólidos suspendidos totales - STS	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. 2540 D, 22 nd. Ed.2017	



N.º	Parámetros	Método de ensayo de referencia	Laboratorio de ensayo acreditado
22	Sólidos totales disueltos - STD	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. 2540 D, 22 nd. Ed.2017	
23	Nitrógeno total	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. 4500 N C, 23rd Ed.2017	
24	Nitrógeno amoniacal (Amoniacal-N(NH ₃ -N))	SWEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NH ₃ F, 23rd Ed.2017	
25	Fósforo total	SWEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NH ₃ F, 23rd Ed.2017	
26	Nitratos	EPA METHOD 300.1 B, Rev.1 2015	

Fuente: Informes de ensayo del laboratorio AQQ PERU S.A.C, ALS PERU S.A.C y TYPASA PERU (anexos 2, 3 y 4) (*) el parámetro no fue evaluado en setiembre de 2019.

6.1.4 Equipos utilizados

Para la medición de los parámetros de campo de agua superficial y agua turbinada se utilizó un multiparámetro con sondas de pH, OD, CE y ORP; asimismo, se utilizaron cámaras fotográficas y GPS para el registro de cada punto de muestreo evaluado. El detalle de los equipos utilizados en junio, julio, setiembre y noviembre de 2019 se encuentra en los anexos 2,3 y 4 (reportes de campo 0339-2019-SSIM, 0413-2019-SSIM y 0441-2019-SSIM).

6.1.5 Aseguramiento de la calidad

El aseguramiento de la calidad en la colecta de las muestras de agua y su posterior análisis se basó en las indicaciones descritas en la publicación «Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales» aprobada por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) mediante Resolución Jefatural N.º 010-2016-ANA, según se detalla en la Tabla 6.1 del ítem 6.1.1. Guías utilizadas para la evaluación.

6.1.6 Procesamiento de datos

Todos los resultados obtenidos fueron digitalizados y ordenados en una sola base de datos. Para el procesamiento de datos se consideró los siguientes análisis.

6.1.6.1 Relación de los iones y sólidos disueltos con la conductividad

Para determinar la relación lineal de la conductividad eléctrica con los sólidos disueltos totales (SDT), concentración que describe la presencia de sales inorgánicas y pequeñas cantidades de materia orgánica en el agua que pasan por un filtro de 0,45 µm, se establecen valores de *K* (relación entre los SDT y la conductividad) con un valor típico de 0,7, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$DT (mg/L) = k * Conductividad (\mu S/cm) \quad (6.1)$$

No obstante, hay diversos factores como el incremento y la composición de la concentración de los iones (diferente mezcla de sales disueltas) como el agua de mar, continental y destilada que involucran diferentes valores de *K* para obtener una relación precisa entre los SDT y la conductividad (Walton, 1989)¹⁹. De esa manera, la Figura 6.1 muestra una vista generalizada de los cambios de los valores de *K* con el incremento de los TDS en los distintos tipos de agua.

¹⁹ Otros 2 factores que involucran el cambio de los valores de *k* es la temperatura (que incrementa la movilidad de los iones a mayor temperatura, hay un incremento del 2 % de la conductividad por cada aumento de 1 °C, el cual es corregido por los equipos multiparámetros) y los efectos del pH en rango alto (> 9) y bajo (< 5), el cual contribuye al valor de la conductividad que otros cationes y aniones en el agua.

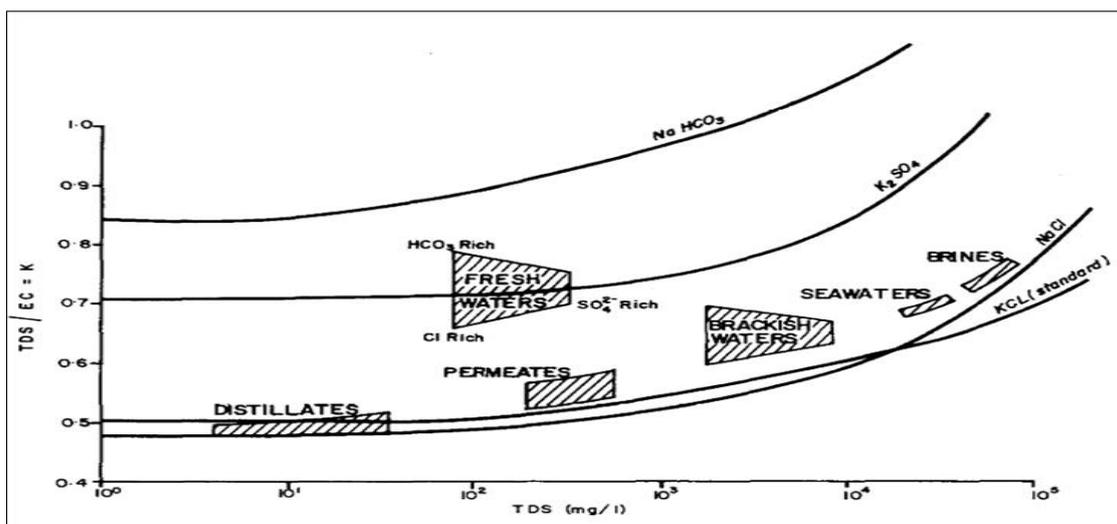


Figura 6.1. Relación de los sólidos disueltos totales (TDS) con los valores de k para diferentes tipos de agua.

Fuente: Walton (1989, p.290).

De acuerdo a la Figura 6.1, existen diferentes valores de k de acuerdo al tipo de agua como: naturales (*fresh water*), destilada, permeada (*permeates*), salobres (*brackish water*), marina (*seawaters*) y salmueras (*brines*), los cuales pueden contener una variedad de sales disueltas de bicarbonatos, sulfatos o cloruros, por lo que se puede obtener un valor entre el rango de 0,50 a 0,85. Por tal motivo, no se justifica el uso de valor de K para todos los tipos de agua, de tomarse en cuenta llegaría a tener un error del 25 %.

6.1.6.2. Análisis multivariado

Para identificar patrones de concentración similares en los puntos de muestreo, los resultados de metales en agua superficial se interpretarán por medio del análisis multivariado. Los cálculos matemáticos y estadísticos utilizaron la versión 23 del software IBM SPSS (Statistical Package for Social Sciences) - 2015, STATISTICA 12 (StatSoft, Tulsa, OK 74104) - 2014 y la hoja de cálculo de Microsoft Office Excel 2016.

Para el análisis se realizó la evaluación con los metales totales, agrupando todos los puntos de muestreo de agua superficial del río Pativilca, quebrada Carhuan y puntos de muestreo de agua turbinada. Dentro de los criterios en primer lugar se consideró aquellos parámetros con porcentaje de valores por debajo del límite de cuantificación menor o igual al 30 %.

Luego del grupo de parámetros obtenidos se consideró aquellos cuyo valor del test de KMO fue mayor a 0,6 (ordinario) y que presentaron el mayor porcentaje de varianza explicada. Finalmente, se considerará los factores que tuvieron valor del Eigenvalor mayor a 1 (criterio de Kaiser) para luego obtener las cargas (*loadings*) de los parámetros y los scores (puntuaciones) de los puntos de muestreo para graficarlos en un diagrama biplot. En este diagrama se visualizó la influencia de uno o varios parámetros resaltantes (mayores a una carga de 0,75).

En el diagrama biplot se muestra los parámetros asociados diferenciados por colores en función a cada zona evaluada, donde se ubica los puntos de muestreo y son diferenciados por cada temporada.



a. Manejo de datos por debajo del límite de cuantificación

Los resultados de algunos parámetros de calidad de agua, en las evaluaciones ambientales estuvieron por debajo del límite de detección o cuantificación del procedimiento analítico del laboratorio. Estos datos desconocidos fueron descritos como no detectados por el laboratorio en lugar de reportarlos como ceros o ausentes, con la descripción «< Límite». En los casos donde se describe los valores no detectables, la concentración es desconocida, aunque se encuentre entre cero y el valor del límite, considerándose parámetros censurados los que incluyen datos detectados como los no detectados (EPA, 2006).

La condición más importante para llevar a cabo el análisis multivariado es que la matriz de datos obtenida se encuentre completa, debido a que una matriz incompleta produce resultados inconclusos o erróneos, siendo necesario eliminar o rellenar los espacios vacíos de alguna manera (Ramos, 2001).

De acuerdo a la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos - *Environmental Protection Agency* (por sus siglas en inglés; en adelante, EPA) del 2006 (EPA, 2006), sugiere que para porcentaje de valores no detectables menores al 15 %, los valores se reemplacen de la siguiente manera: cero, mitad del valor, el mismo valor o establecer por el método de Cohen.

En tanto, para porcentaje de valores no detectables mayores al 15 % y menores a 50 % se establezca los siguientes métodos analíticos: media recortada (*trimmed*), método de Cohen, media winsorizada (*Winsorized*) y la desviación estándar.

Mientras que para Dennis R. Helsel (Helsel, 2012), para porcentaje de valores no detectable menores a 50 % se establece el método de imputación o Kaplan-Meier/Turnbull y para valores mayores a 50 % y menores a 80 % se establece métodos robustos o imputación múltiple.

De otro lado, el estudio realizado por Farnham *et al.* (2002) que sustituir valores por debajo del límite de detección «<LD» por la mitad (LD/2) fue superior que la sustitución por 0 o el mismo valor del límite LD, el cual fue efectivo para porcentajes de los valores no detectables menores al 30 %.

De esa manera, tomando en cuenta los criterios indicados anteriormente, para la presente evaluación se estableció que los parámetros cuyos valores no detectables menores o iguales al 30 % fueran considerados en el análisis multivariado, tomando los valores del límite de detección o cuantificación para aquellas concentraciones no detectables, puesto que no hubo diferencias en los resultados en cuanto a sustituir por la mitad del citado límite.

b. Estadísticos para la viabilidad del análisis multivariado

Para verificar la idoneidad de la estructura de la matriz de correlaciones y, en consecuencia, la viabilidad del análisis multivariado se aplicó el siguiente estadístico:

- **Test de Kaiser-Mayer-Olkin (KMO)**

La prueba o medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) mide la idoneidad de los datos para realizar un análisis factorial. Esta prueba permite comparar la magnitud de los coeficientes de correlación observados con la magnitud de los coeficientes de correlación parcial.

Los resultados de la evaluación del análisis multivariado son excelentes si la medida KMO de adecuación muestral está comprendido entre 0,9 y 1; buenos, si está comprendido entre



0,8 y 0,9; aceptables, si se encuentra entre 0,7 y 0,8; mediocres o regulares, cuando resulte entre 0,6 y 0,7; malos, si está entre 0,5 y 0,6; e inaceptables o muy malos cuando sea menor que 0,5 y que no debe usarse el análisis factorial.

El número de parámetros de agua superficial elegidos en el presente estudio está relacionado al mayor valor de KMO obtenido posible ($> 0,70$), sin que la eliminación del parámetro disminuya la comprensión final del análisis multivariado.

c. Análisis de factor (AF)

Dentro de los diversos métodos o técnicas de análisis multivariado, se utilizó el análisis de factor (AF), el cual ha sido aplicado en diversos estudios de investigación para caracterizar y evaluar los resultados de los cuerpos de agua superficial continental (agua dulce) y marina.

El objetivo del AF es extraer la información significativa (Wang YB, 2015) y reducir la complejidad de los grupos de datos obtenidos (matriz de datos) de los parámetros en agua superficial, para ofrecer una mejor interpretación y entendimiento de los resultados, 2007; Shrestha y Kazama, 2007).

Para el análisis de factor se cuenta con los siguientes análisis: método de extracción mediante componentes principales, rotación de factores mediante la rotación ortogonal varimax, y los rangos de valores de importancia de las cargas (*loadings*) para las variables (parámetros) y puntuaciones (scores) para las observaciones (puntos de muestreo).

El número de factores considerados se estableció de acuerdo con el criterio de Kaiser o eigenvalor (autovalor) > 1 . Cabe indicar que la suma de todos los eigenvalores es igual al número de parámetros; por lo que cada factor debe explicar al menos un parámetro ambiental, ya que dichos factores son considerados importantes u óptimos (Kannel, Lee, Kanel, y Khan, 2007; Kowalkowski *et al*, 2006).

6.1.6.3. Diagrama de cajas y bigotes

El gráfico de caja y bigotes se emplea como representación gráfica de variables cuantitativas. Permite resumir, describir y analizar aspectos generales y particulares del indicador. Su preferencia se debe a que es, simultáneamente, una herramienta sencilla y rigurosa de exploración análisis de una distribución cuantitativa y, porque, además, permite establecer, en el mismo gráfico, comparaciones entre subgrupos (Ballesteros, 2015).

El gráfico de caja se construye en base a 5 medidas estadísticas: el valor mínimo, el valor máximo, la mediana (Q2), el primer cuartil o percentil 25 (Q1) y el tercer cuartil o percentil 75 (Q3) de los datos²⁰. Lo más importante del gráfico es la «caja», esta se define a partir del rango intercuartílico (IQR, por sus siglas en inglés)²¹. De manera que el cuadrado o rectángulo contiene el 50 % de los valores centrales, mientras que de la caja se prolongan 2 segmentos (superior e inferior) denominados por Tukey (1977) como bigotes (*whisker*) que señalan el límite superior ($Q3 + 1,5 \cdot IQR$) e inferior ($Q1 - 1,5 \cdot IQR$) para la detección de valores atípicos (*outliers*) (Figura 6.2).

²⁰ Los valores de Q₁ y Q₃ contienen el 25 % y 75 % de los datos respectivamente.

²¹ El IQR es la diferencia entre el valor del tercer cuartil y el valor del primer cuartil ($IQR = Q3 - Q1$).

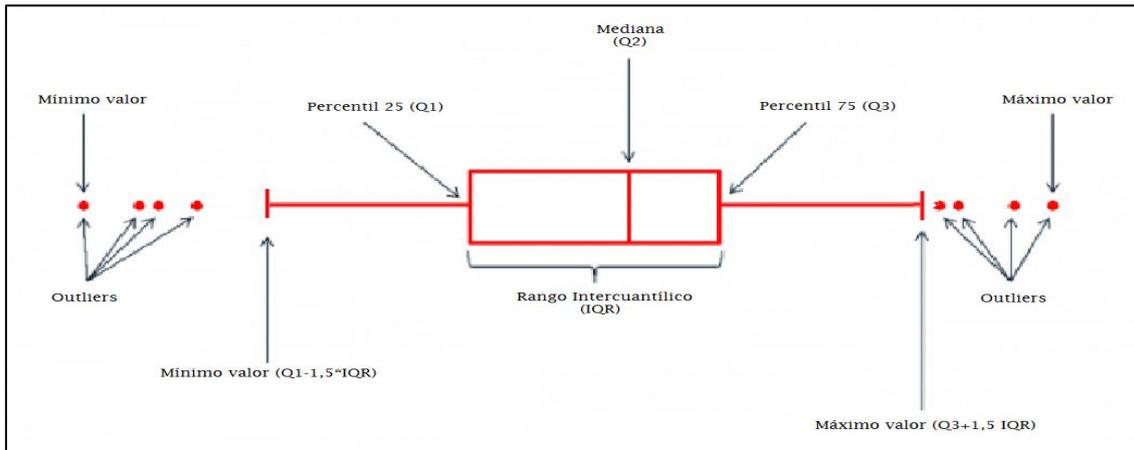


Figura 6.2. Diagrama de cajas y bigotes
Fuente: Modificado de Barua B (2018).

6.1.7 Criterios de evaluación

El único instrumento de gestión ambiental que cuenta la C.H. Cahua corresponde al Programa de Adecuación de Manejo Ambiental (PAMA), aprobado por la Dirección General de Electricidad del Ministerio de Energía y Minas, mediante Resolución Directoral N.º 083-97-EM/DGE del 12 de marzo de 1997. Dicho PAMA se aprobó durante la vigencia de la Ley General de Aguas. Según la Resolución Jefatural N.º 056-2018-ANA²², «Clasificación de los Cuerpos de Agua Continentales Superficiales», el río Pativilca (U.H. 137583) posee una clasificación con Categoría 3. Por lo cual, los resultados de agua superficial (ríos y quebradas) serán comparados con la normativa vigente de los Estándares Nacionales de Calidad para Agua (en adelante, ECA para Agua), aprobados por el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM, Categoría 3: «Riego de vegetales y bebida de animales».

Respecto a las aguas turbinadas²³ que de acuerdo con el Art. 87 del Decreto Supremo N.º 014-2019-EM del 7 de julio de 2019, las aguas turbinadas no son considerados ni agua residual industrial ni efluentes, por lo cual, no se ha comparado los resultados con una normativa semejante y/o vigente.

6.2 Sedimento

Todos los resultados obtenidos fueron digitalizados y ordenados en una sola base de datos. Para el procesamiento de datos se consideró los siguientes análisis.

6.2.1 Guías utilizadas para la evaluación

Debido a que aún no se cuenta con un protocolo nacional para el monitoreo y evaluación de sedimentos de agua continental, se procedió a utilizar las referencias indicadas en la Tabla 6.6

Tabla 6.6. Referencias para el monitoreo para calidad de sedimentos

²² Resolución Jefatural N.º 056-2018-ANA. Clasificación de los Cuerpos de Agua Continentales Superficiales. Aprobada el 13 de febrero de 2018.

²³ «El agua turbinada que proviene de la operación de una central hidroeléctrica no es considerada agua residual ni efluente. Sin perjuicio de ello, debe ser monitoreada aguas arriba y aguas abajo del cuerpo receptor con una periodicidad semestral a efectos de controlar la calidad ambiental, de acuerdo con las condiciones establecidas en el Estudio Ambiental o Instrumento de Gestión Ambiental complementario».



Referencia	Sección	País	Institución	Año
Manual de métodos de muestreo y preservación de muestras de las sustancias prioritarias para las matrices prioritarias del PRONAME	Sección 3.4.6	México	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC-CCA)	2010
Procedimiento para el muestreo de aguas y sedimento para la determinación de metales	Sección 7.3, 8, y 9.2	Colombia	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	2011

Nota: Cabe señalar que también se consideraron los requerimientos establecidos por el laboratorio acreditado encargado de la analítica.

Debido al fuerte caudal los sedimentos se colectaron a orillas del río, próximos a donde se realizó el muestreo de comunidades hidrobiológicas.

6.2.2 Ubicación de puntos de muestreo

La ubicación de los puntos de muestreo de sedimentos se estableció en los mismos puntos de muestreo de calidad de agua superficial. Se plantearon en total 8 puntos de muestreo, 7 en el río Pativilca y 1 en la quebrada Carhuan, se mantuvo la misma codificación de agua superficial (Tabla 6.7). En el Anexo 1 se muestra el mapa de ubicación de sedimentos.

Tabla 6.7. Ubicación de los puntos de muestreo de sedimentos

N°	Cuerpo receptor	Código OEFA	Coordenadas UTM		Descripción
			WGS-84 Zona 18 L		
			Este (m)	Norte (m)	
1	Río Pativilca	RPat-1	256778	8833000	Aguas arriba de la bocatoma de la C.H. Cahua, aproximadamente a 200 m
2		RPat-2	256129	8833335	Aguas abajo de la bocatoma de la C.H. Cahua, aproximadamente a 600 m
3		RPat-3	246876	8830529	Aguas arriba de la casa de máquinas de la C.H. Cahua aproximadamente a 500 m
4		RPat-4	246721	8829751	Aguas abajo de la casa de máquinas de la C.H. Cahua aproximadamente a 500 m
5		RPat-10	256960	8832641	Aguas arriba de la bocatoma de la C.H. Cahua, aproximadamente a 600 m
6		RPat-11	257215	8832579	Aguas arriba de la bocatoma de la C.H. Cahua, aproximadamente a 800 m
7		RPat-18*	244481	8827937	Aguas abajo de la casa de máquinas de la C.H. Cahua aproximadamente a 3,3 km
8	Quebrada Carhuan	QCar-1	250717	8831927	Quebrada Carhuan, a altura del puente Carhuan

(*) No se colectó muestra en el mes de setiembre, debido a la poca cantidad de sedimento. Los demás puntos se muestrearon en junio, julio y setiembre.

Fuente: Anexo 2: reporte de campo N.º 0335-2019-SSIM); Anexo 3: reporte de campo N.º 0336-2019-SSIM y Anexo 4: reporte de campo N.º 0432-2019-SSIM.

6.2.3 Parámetros y métodos de análisis

Para la selección de los parámetros a analizar se consideraron los estándares establecidos en la Guía de calidad ambiental de Canadá (Canadian Environmental Quality Guidelines [CEQG]) del año 2001 y su modificatoria del año 2011 y aquellos parámetros que contribuyeron a la determinación del caudal ecológico.

En la Tabla 6.8 se presentan los parámetros analizados por el laboratorio acreditado por Inacal, contratado por el OEFA.

Tabla 6.8. Parámetros considerados para la evaluación de calidad de sedimentos

N.º	Parámetros (mg/kg)	Método de ensayo de referencia	Laboratorio de ensayo acreditado
-----	--------------------	--------------------------------	----------------------------------



1	Metales	EPA Method 3050 B / EPA Method 6010 D, Rev. 5 July. 2018 ICP- OES	ALS LS PERU S.A.C.
2	Materia orgánica	Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT20; ítem 7.1.7 AS-07. Determinación de Materia Orgánica (AS-07 Walkley y Black). (Validado) 2017	SGS S. A.
3	Granulometría	PEC-018 (Densitometría) PE-4039	AGQ PERÚ S.A.

Fuente: Informes de ensayo del laboratorio ALS PERU S.A.C y TYPESA PERÚ (Anexos 2, 3 y 4).

6.2.4 Equipos utilizados

Para el muestreo de sedimento se utilizaron materiales como cucharón y bandeja; adicionalmente se utilizaron cámaras fotográficas y GPS para el registro de cada punto de muestreo evaluado. El detalle de los equipos utilizados en junio, julio y setiembre de 2019 se encuentra en el Anexo 2: reporte de campo N.º 0335-2019-SSIM; Anexo 3: reporte de campo N.º 0336-2019-SSIM y Anexo 4: reporte de campo N.º 0432-2019-SSIM.

6.2.5 Aseguramiento de la calidad

Respecto al aseguramiento de calidad del muestreo de sedimento, no hay referencias respecto al control de calidad; sin embargo, durante la toma de muestra, la cantidad colectada fue de acuerdo con las especificaciones del laboratorio de ensayo encargado de la analítica. Asimismo, se recopiló en hojas de muestreo en campo información relevante durante la toma de muestra.

6.2.6 Procesamiento de datos

Todos los resultados obtenidos fueron digitalizados y ordenados en una sola base de datos. Para el procesamiento de datos se consideró los siguientes análisis.

6.2.6.1 Análisis multivariado

Este análisis para sedimentos tuvo los mismos criterios indicados en el análisis multivariado para agua descritos en el ítem 6.1.6.2., considerando los siguientes criterios:

- Analizar con parámetros con porcentajes de concentraciones por debajo del límite de detección fueron menores o iguales al 30 %.
- Test de KMO con valor mayor a 0,6 (ordinario) y el máximo porcentaje de varianza posible (> 75 %).
- Número de factor con eigenvalor mayor a 1 (criterio de Kaiser)
- Cálculo de las puntuaciones (scores) de los puntos de muestreo y cargas (*loadings*) de los parámetros.

6.2.6.2 Diagrama de cajas y bigotes

Este análisis para sedimento tuvo los mismos criterios indicados en el análisis de diagramas de cajas y bigotes de agua descritos en el ítem 6.1.6.3.

6.2.6.3 Análisis granulométrico

El comportamiento de los sedimentos en un río depende de la distribución granulométrica (Ryan y Porth, 1999). Los resultados de dichos análisis se presentaron como curvas de distribución acumulativa de frecuencias de tamaños, en las que se graficó el tamaño versus la fracción de porcentaje en peso de un sedimento que es mayor o menor a un determinado tamaño (Figura 6.3).

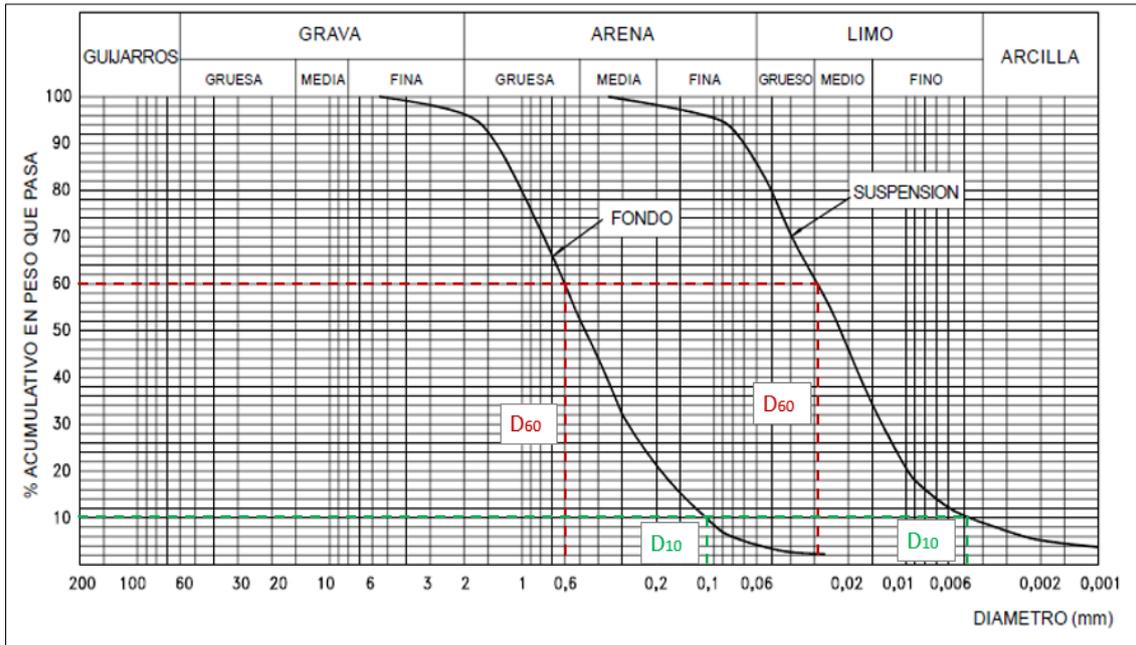


Figura 6.3. Curva granulométrica acumulada continua

Fuente: Modificado de Rocha, B (1998, p.92).

La interpretación de una curva granulométrica puede proporcionarnos información acerca del comportamiento del sedimento. Cuando las curvas presentan picos y tramos planos, evidencia que la variación de tamaños es escasa lo que correspondería a sedimentos mal gradados. En cambio, cuando la curva adopta una disposición continua se le denomina bien gradado. Uno de los parámetros para determinar numéricamente el grado de uniformidad es el coeficiente de uniformidad (C_u), dado por la relación entre aberturas de tamices por donde pasan el 60% (D_{60}) y el 10% (D_{10}) en peso de la totalidad de la muestra. El coeficiente de uniformidad (C_u) está dada por la siguiente relación:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \tag{6.2}$$

Si el sedimento arroja valores inferiores a 4 se considera muy uniforme (mal gradado), mientras que un C_u mayores a 5 se considera un sedimento no uniforme (bien gradado) (Bañón y Beviá, 2000; CVC, 2004).

6.2.7 Criterios de evaluación

Debido a que en la actualidad no se cuenta con normativa nacional, se tomó de manera referencial los Estándares de la Guía de Calidad Ambiental de Canadá–CEQG (*Canadian Environmental Quality Guidelines. Sediment Quality Guidelines for Protection of Aquatic Life of Freshwater – CEQG-SQG, 2002*)²⁴ del Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente (CCME, en sus siglas en inglés) para sedimentos de agua dulce, que tienen valores para 7 metales: arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, plomo y zinc. La guía de calidad ambiental canadiense para sedimentos de aguas continentales de los metales define 2 valores límites indicados

²⁴ Disponible en: https://www.ccme.ca/en/resources/canadian_environmental_quality_guidelines/. Consultado el 10 de noviembre de 2019.



- *Interim Sediment Quality Guidelines* - ISQG (valores guía provisional de calidad de sedimento): representa el nivel por debajo del cual no se esperan efectos biológicos adversos en los macroinvertebrados bentónicos.
- *Probable Effect Level* - PEL (valores guía provisional de calidad de sedimento): representa el nivel de concentración química por encima del cual —usualmente o siempre— está asociado a efectos biológicos adversos en los macroinvertebrados bentónicos.

Tabla 6.9. Valores de referencia para metales pesados en sedimentos

Guía o normativa referencial	Metal	Unidad	Norma Canadiense (CEQG-SQG)	
			ISQG	PEL
<i>Canadian Environmental Quality Guidelines. Sediment Quality Guidelines for Protection of Aquatic Life</i> (CEQG-SQG, 2002) – Canadá.	Arsénico	mg/kg PS	5,9	17
	Cadmio		0,6	3,5
	Cobre		35,7	197
	Cromo		37,3	90
	Mercurio		0,17	0,486
	Plomo		35	91,3
	Zinc		123	315

PS: Peso seco

6.3 Comunidades hidrobiológicas

En los apartados siguientes se muestra la metodología utilizada para evaluar las comunidades hidrobiológicas: guía y protocolo, la ubicación de puntos de muestreo, parámetros, métodos de análisis, equipos y el procesamiento de datos de la evaluación de comunidades hidrobiológicas de perifiton, macrobentos, colecta de camarones y peces. Cabe precisar que se realizó la colecta de camarones y peces por unidades hidromorfológicas (UHM), cuya ubicación se indica en el ítem 6.4.2.

6.3.1 Guías utilizadas para la evaluación

La Tabla 6.10 presenta la guía de referencia para el muestreo de comunidades hidrobiológicas, donde se describen las diferentes técnicas de muestreo, y de las cuales se eligieron las aplicables para el área de influencia del proyecto C.H. Cahua.

Tabla 6.10. Guías utilizadas para la evaluación de comunidades hidrobiológicas

Matriz	Autoridad emisora	País	Referencia	Año	Capítulos
Hidrobiología	Ministerio del Ambiente (Minam)	Perú	Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú	2014	4.1.2 Técnicas de colecta – perifiton
					5.1.2.2 Métodos de recolección cuantitativos – bentos (macroinvertebrados)
	Instituto del Mar del Perú (IMARPE)	Perú	Evolución de la condición poblacional del camarón <i>Cryphiops caementarius</i> en el río Cañete (2000-2015)	2017	---

6.3.2 Ubicación de puntos de muestreo

Se evaluaron en total 27 puntos de muestreo²⁵ los que se detallan en la Tabla 6.11. Los puntos de muestreo se distribuyeron en función de las 3 zonas de análisis propuestas descritas en el ítem 4 de área de estudio: zona I (zona control), zona II (zona de caudal

²⁵ . Para el caso de análisis de macroinvertebrados bentónicos se evaluaron 22 puntos de muestreo correspondientes a la evaluación ambiental en C.H. Cahua y, además, se consideró puntos de muestreo en el área de evaluación de la C.H. Yanapampa en los meses de junio, julio y setiembre 2019, debido a la cercanía con la Zona III (dicha evaluación se realizó en paralelo a la evaluación ambiental de la C. H. Cahua). Los resultados de identificación se presentan en el Anexo 13 (Identificación de macroinvertebrados bentónicos C.H. Yanapampa).



reducido) y zona III (zona de influencia). En la Tabla 6.12 se muestra los componentes hidrobiológicos de perifiton y macroinvertebrados bentónicos evaluados en junio, julio y setiembre de 2019.

Tabla 6.11. Ubicación de los puntos de muestreo de comunidades hidrobiológicas

N.º	Cuerpo receptor	Puntos de muestreo	Coordenadas UTM WGS-84 Zona 18 L		Descripción
			Este (m)	Norte (m)	
Ambiente lótico					
ZONA I					
1	Río Pativilca	RPat-15	258807	8832291	Aguas arriba de la bocatoma de la C.H. Cahua, aproximadamente a 2,5 Km
2		RPat-14	258348	8832302	Aguas arriba de la bocatoma de la C.H. Cahua, aproximadamente a 1,9 km
3		RPat-13	258122	8832373	Aguas arriba de la bocatoma de la C.H. Cahua, aproximadamente a 1,6 km
4		RPat-12	257407	8832484	Aguas arriba de la bocatoma de la C.H. Cahua, aproximadamente a 1,0 Km
5		RPat-11*	257215	8832579	Aguas arriba de la bocatoma de la C.H. Cahua, aproximadamente a 800 m
6		RPat-16	257210	8832537	Aguas arriba de la bocatoma de la C.H. Cahua, aproximadamente a 860 m
7		RPat-10*	256960	8832641	Aguas arriba de la bocatoma de la C.H. Cahua, aproximadamente a 600 m
8		RPat-1*	256778	8833000	Aguas arriba de la bocatoma de la C.H. Cahua, aproximadamente a 200 m
9		RPat-17	256847	8832821	Aguas arriba de la bocatoma de la C.H. Cahua, aproximadamente a 400 m
ZONA II					
10	Río Pativilca	RPat-2*	256129	8833335	Aguas abajo de la bocatoma de la C.H. Cahua, aproximadamente a 600 m
11		RPat-19	255995	8833386	Aguas abajo de la bocatoma de la C.H. Cahua, aproximadamente a 700 m
12	Quebrada Carhuan	QCar-1*	250717	8831927	Quebrada Carhuan, a altura del puente Carhuan
13	Río Pativilca	RPat-20	250697	8832127	Confluencia del río Pativilca con la quebrada Carhuan, aproximadamente a 170 m del puente Carhuan
14		RPat-3*	246876	8830529	Aguas arriba de la casa de máquinas de la C.H. Cahua aproximadamente a 500 m
15		RPat-21	246959	8830658	Aguas arriba de la casa de máquinas de la C.H. Cahua, aproximadamente a 450 m
16		RPat-22	246769	8830372	Aguas arriba de la casa de máquinas de la C.H. Cahua, aproximadamente a 150 m
17		RPat-23	248722	8831816	Aguas arriba de la casa de máquinas de la C.H. Cahua, aproximadamente a 2,5 km
18		RPat-24	248442	8831586	Aguas arriba de la casa de máquinas de la C.H. Cahua, aproximadamente a 2,0 km
ZONA III					
19	Río Pativilca	RPat-4*	246721	8829751	Aguas abajo de la casa de máquinas de la C.H. Cahua, aproximadamente a 500 m
20		RPat-25	246604	8829496	Aguas abajo de la casa de máquinas de la C.H. Cahua, aproximadamente a 800 m
21		RPat-18*	244481	8827937	Aguas abajo de la casa de máquinas de la C.H. Cahua, aproximadamente a 3,3 km
22		RPat-26	244616	8827943	Aguas arriba de la casa de máquinas de la C.H. Cahua, aproximadamente a 3,2 km
23		RPat-5**	241346	8825994	Aguas arriba de la bocatoma de la C.H. Yanapampa, aproximadamente a 100 m. Punto ubicado en el canal de derivación
24		RPat-35**	241363	8826000	Aguas arriba de la bocatoma de la C.H. Yanapampa, aproximadamente a 120 m
25		RPat-33**	242459	8826543	Aguas arriba de la bocatoma de la C.H. Yanapampa, aproximadamente a 1,3 km
26		RPat-32**	242693	8826615	Aguas arriba de la bocatoma de la C.H. Yanapampa, aproximadamente a 1,6 km
27		RPat-34**	241822	8826256	Aguas arriba de la bocatoma de la C.H. Yanapampa, aproximadamente a 650 m



(*) Los puntos coinciden con el muestreo de agua y sedimento

(**) Puntos de muestreo adicionales para análisis de macroinvertebrados bentónicos

Fuente: Anexo 10: Informes de identificación taxonómica de perifiton y macrobentos y Anexo 13: Informes de identificación taxonómica de macrobentos correspondiente a la evaluación ambiental de C.H. Yanapampa.

Tabla 6.12. Comunidades hidrobiológicas evaluados por puntos de muestreo

N.º	Cuerpo de agua	Puntos de muestreo	Junio		Julio		Septiembre			
			2019						P	MB
			P	MB	P	MB	P	MB		
ZONA I										
1	Río Pativilca	RPat-15	x	x	x	x	x	x		
2		RPat-14	x	x	x	x	x	x		
3		RPat-13	x	x	x	x	x	x		
4		RPat-12	x	x	x	x	x	x		
5		RPat-11	x	x	x	x	x	x		
6		RPat -16 ^a	x	x	x	x	-	-		
7		RPat-10	x	x	x	x	x	x		
8		RPat-1	x	x	x	x	x	x		
9		RPat-17	x	x	x	x	x	x		
Total			9	9	9	9	8	8		
ZONA II										
10	Río Pativilca	RPat-2	x	x	x	x	x	x		
11		RPat-19	x	x	x	x	x	x		
12		RPat-20	x	x	x	x	x	x		
13		RPat-3	x	x	x	x	x	x		
14		RPat-21	x	x	x	x	x	x		
15		RPat-22	x	x	x	x	x	x		
16		RPat-23	x	x	x	x	x	x		
17		RPat-24	x	x	x	x	x	x		
18	Quebrada Carhuan	QCar-1	x	x	x	x	x	x		
Total			9	9	9	9	9	9		
ZONA III										
19	Río Pativilca	RPat-4	x	x	x	x	x	x		
20		RPat-25 ^a	x	-	x	-	x	x		
21		RPat-18	x	x	x	x	x	x		
22		RPat-26	x	x	x	x	x	x		
23		RPat-5*		x		x		x		
24		RPat-35*		x		x		x		
25		RPat-33*		x		x		x		
26		RPat-32*		x		x		x		
27		RPat-34*		x		x		x		
Total			4	8	4	8	4	9		

P: Perifiton

MB: macroinvertebrados bentónicos

CR: Camarón de río

a: no se colectaron muestras debido a la configuración de lecho en junio y julio 2019.

(*) Puntos de muestreo adicionales para análisis de macroinvertebrados bentónicos

6.3.3 Parámetros y métodos de análisis

En la Tabla 6.13 se describen las comunidades hidrobiológicas analizadas y los métodos de análisis aplicados. Los resultados del análisis de identificación taxonómica de las muestras colectadas de perifiton y macroinvertebrados bentónicos realizados en junio, julio y setiembre 2019 se adjuntan en el Anexo 10.

Tabla 6.13. Parámetros evaluados y métodos de análisis de comunidades hidrobiológicas

N.º	Parámetros	Método de ensayo de referencia
1	Perifiton (microalgas y microorganismos)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 10300 C. Item 1 y 2. 22nd Ed. 2012. Periphyton Sample Analysis. Sedgwick-Rafter count. Inverted Microscope Method Counts.
2	Macroinvertebrados bentónicos	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 10500 C.1, 2, 22nd Ed. 2012. Benthic Macroinvertebrates Sample Processing and Analysis



Las muestras fueron identificadas por especialistas taxónomos de la Dirección de Evaluación Ambiental del OEFA.

6.3.4 Equipos utilizados

Para el muestreo de macroinvertebrados bentónicos se utilizó una red de colecta Surber y un tamiz de acero inoxidable de 500 µm de abertura de malla, realizándose las 3 campañas de muestreo en un área de 0,27 m². Mientras que la captura de camarón de río se efectuó haciendo uso de atarraya durante las 3 campañas, un equipo de pesca eléctrico - *electrofisher* - y en ocasiones una colecta manual.

Adicionalmente se utilizaron cámaras fotográficas y GPS para el registro de cada punto de muestreo evaluado. El detalle de los equipos utilizados en las 3 campañas de muestreo se encuentra en los Anexos 2, 3 y 4 (Reportes de campo N.º 0335-2019-SSIM, N.º 0336-2019-SSIM, N.º 0432-2019-SSIM).

6.3.5 Procesamiento de datos

La caracterización de las comunidades hidrobiológicas de perifiton, macroinvertebrados bentónicos y camarón de río se realizó teniendo en cuenta lo presentado a continuación.

6.3.5.1. Caracterización de las zonas

Se usó las características especificadas en el protocolo de condiciones de referencia del CERA (Acosta *et al.* 2009) para evaluar las condiciones de cada una de las zonas. Estas características cuantifican muchas de las presiones o impactos que ocurren en ríos peruanos, permitiendo dar un entendimiento superficial de lo que ocurre en el tramo de evaluación (Tabla 6.14).

Tabla 6.14. Criterio de valoración para las características usadas en la definición de las estaciones de referencia en el CERA

Características	Poco		Medio		Mucho	
	Descripción	Puntaje	Descripción	Puntaje	Descripción	Puntaje
Cobertura de especies introducidas	<10 %	5	10-30 %	3	>30 %	1
Porcentaje de cobertura en pastos artificiales	<10 %	5	10-30 %	3	>30 %	1
Porcentaje de cobertura en usos urbanos	<1 %	5	1-10 %	3	>10 %	1
Ausencia de vegetación autóctona	<10 %	5	10-50 %	3	>50 %	1
Explotaciones mineras	Inexistente o de muy baja intensidad	5	Una grande o varias de poca intensidad	3	2 grandes o muchas de pequeña intensidad	1
Explotaciones ganaderas intensivas	Inexistente o mínimas	5	Una gran explotación	3	2 grandes o muchas de pequeña intensidad	1
Hidrología		5		3		1
Presencia de grandes presas aguas arriba del lugar	Inexistente	5	1	3	>1	1
Derivaciones de agua para hidroeléctricas	<10 %	5	10-50 %	3	>50 %	1
Trasvases a otras cuencas o desde otras cuencas	Sin trasvase	5	<25 %	3	>25 %	1
Derivaciones para usos en agricultura y ganadería	Sin desvío	5	<25 %	3	>25 %	1
Derivaciones para usos en minería	Sin desvío	5	<25 %	3	>25 %	1
Derivaciones para uso urbano (usos domésticos e industriales)	Sin desvío	5	<25 %	3	>25 %	1
Tramo (incluye ribera y zona de inundación)		5		3		1



Características	Poco		Medio		Mucho	
	Descripción	Puntaje	Descripción	Puntaje	Descripción	Puntaje
Canalización del río por infraestructuras rígidas (escolleras, etc.)	Sin canalización	5	<25 %	3	>25 %	1
Canalización del río por terraplenes	Sin canalización	5	<50 %	3	>50 %	1
Presencia de cultivos y pasto en la llanura de inundación	Sin cultivos	5	<50 %	3	>50 %	1
Infraestructuras laterales (carreteras, construcciones)	No hay	5	En uno de los lados	3	En los 2 lados	1
Falta de cubierta de la zona de ribera (árboles o arbustos)	Totalmente cubierto	5	>50 %	3	<50 %	1
%Cubierta vegetal por especies introducidas (árboles o arbustos)	Sin especies introducidas	5	<50 %	3	>50 %	1
Lecho		5		3		1
Sustrato del lecho totalmente artificial (cemento, escollera, etc.)	Nada	5	<10 %	3	>10 %	1
Infraestructuras transversales (azudes, vados, etc.)	Ninguno	5	1	3	>1	1
Presencia de efluentes directos al río	No hay	5	1 o 2	3	Varios de poco caudal o uno de mucho caudal	1
Contaminación orgánica evidente	Río transparente y sin olor	5	Río turbio y poco olor	3	Río con espuma y mucho olor	1
Contaminación minera evidente	No hay	5	Río con sedimentos en suspensión	3	Sedimentos muy abundantes con de pH muy ácido o muy básico	1
Presencia de basuras y escombros (sea en la ribera o en el mismo lecho)	No hay o solo aisladamente	5	Acumulación de forma aislad	3	vertedero	1

Fuente: modificado de Acosta *et al.*, 2009

6.3.5.2. Perifiton y macroinvertebrados bentónicos

A. Composición taxonómica

La clasificación taxonómica (phylum, clase, orden, familia y especie) de las comunidades de perifiton (microalgas y microorganismos) y macroinvertebrados bentónicos evaluados en los ambientes acuáticos correspondientes al área de influencia del proyecto C.H. Cahua se encuentra en el Anexo 10 (identificación taxonómica de perifiton y macroinvertebrados bentónicos) y Anexo 14 (identificación de macroinvertebrados bentónicos en C.H. Yanapampa).

La composición taxonómica de perifiton (microalgas y microorganismos) se desarrolló en base a la categoría taxonómica phylum; mientras que para las comunidades de macroinvertebrados bentónicos la evaluación de la riqueza y la abundancia se desarrolló en base a la categoría taxonómica orden.

Es necesario indicar que la abundancia fue analizada en base a la densidad de la muestra, representándose los resultados para perifiton (microalgas y microorganismos) en organismos/cm² y para macrobentos en organismos/muestra y para el caso de camarones y peces en número de individuos.

B. Diversidad alfa y abundancia



La diversidad alfa (α) puede ser determinada por el número de especies (riqueza) en una determinada área, estación o zona de estudio (Costa y Melo, 2008). Una de las maneras de estimar esta riqueza (S) es mediante el uso de curvas de acumulación de especies (Jiménez-Valverde y Hortal, 2003).

a. Curva de acumulación de especies

Este método hace uso de la función de Clench, mediante la ecuación:

$$S_n = a \times \frac{n}{1 + b \times n} \quad (6.3)$$

Mediante aleatorizaciones de las muestras colectadas en una zona se puede estimar la riqueza real del sitio, relacionando la cantidad de muestras con la riqueza encontrada.

La diversidad puede ser, también, medida por índices de diversidad. Estos son calculados en base a las abundancias de cada una de las especies (Moreno, 2001; Costa y Melo, 2008).

b. Índices de diversidad

- Índice de Shannon-Wiener (H'): Este índice creado por Shannon (1948) fue diseñado inicialmente para medir la cantidad de información transmitida en un código. Aplicado al campo ecológico, su definición se puede establecer como la medida del grado promedio de incertidumbre en predecir a que especie pertenecerá un individuo escogido al azar de una colección (Magurran, 1988), cuya formulación es:

$$H' = - \sum_{i=1}^n p_i \cdot \ln p_i \quad (6.4)$$

$$p_i = \frac{N_i}{N_t}; \text{ abundancia relativa de la especie "i".}$$

La base del logaritmo es indiferente, es decir puede ser binaria, decimal o natural (Somarriba, 1999), para los cálculos de este índice se escogió la base natural, cuyas unidades del H' serían nits/individuo.

- Equidad de Pielou (J'): Mide la proporción de la diversidad observada con relación a la máxima diversidad esperada (Moreno, 2001), de ahí que su formulación sea:

$$J' = \frac{H'}{H'_{\max}} \quad (6.5)$$

$$H'_{\max} = \ln(\text{Riqueza})$$

Su valor va de 0 a 1, de forma que 1 corresponde a situaciones donde todas las especies son igualmente abundantes (Magurran, 1988).

c. Abundancia

La abundancia permite conocer la cantidad de individuos encontrados. La abundancia fue analizada mediante la transformación logarítmico en base natural de esta variable, para poder comparar los valores extremos de abundancia con los valores más inferiores.

C. Calidad ecológica

**a. Macroinvertebrados bentónicos**

- Índice biótico andino (Andean Biotic Index - ABI): La calidad de los hábitats acuáticos en los distintos grupos evaluados se realizó de manera referencial a través del índice ABI. Este índice fue desarrollado para ríos altoandinos (sobre los 2000 m s.n.m.) y se obtiene sumando los valores de sensibilidad de cada familia de macroinvertebrados bentónicos presente en cada punto de muestreo. Cabe indicar que índice el ABI, forma parte de un protocolo de evaluación de la Calidad Ecológica de los Ríos Andinos (CERA) (Acosta *et al.*, 2009).

En la Tabla 6.15 están clasificados los invertebrados indicadores de calidad más comunes presentes en los ríos altoandinos, lo cual se obtiene la calidad biológica mediante la presencia o ausencia de los macroinvertebrados.

Tabla 6.15. Puntajes de sensibilidad asignadas a las familias de macroinvertebrados bentónicos

Orden / Clase	Familia	Puntaje	Orden / Clase	Familia	Puntaje	
Turbellaria	-	5	Tricoptera	Polycentropodidae	8	
Hirudinea	-	3		Xiphocentronidae	8	
Oligochaeta	-	1		Glossosomatidae	7	
Gasteropoda	Ancylidae	6		Limnephilidae	7	
	Hydrobiidae	3		Hydroptilidae	6	
	Limnaeidae	3	Hydropsychidae	5		
	Physidae	3	Lepidoptera	Pyralidae	4	
Planorbidae	3	Coleoptera		Dryopidae	5	
Bivalvia	Sphaeriidae		3	Elmidae	5	
Amphipoda	Hyalellidae		6	Hydraenidae	5	
Hydracarina	-		4	Lampyridae	5	
Ephemeroptera	Leptophlebiidae		10	Psephenidae	5	
	Oligoneuridae		10	Ptilodactylidae	5	
	Leptohyphidae		7	Scirtidae(helodidae)	5	
	Baetidae		4	Gyrinidae	3	
Odonata	Polythoridae		10	Dytiscidae	3	
	Calopterygidae		8	Hydrophilidae	3	
	Gomphidae		8	Staphylinidae	3	
	Aeshnidae		6	Diptera	Blepharoceridae	10
	Coenagrionidae		6		Athericidae	10
Libellulidae	6		Simuliidae		5	
Plecoptera	Perlidae		10		Tipulidae	5
	Gripopterygidae	10	Ceratopogonidae		4	
Heteroptera	Corixidae	5	Dixidae		4	
	Gerridae	5	Dolichopodidae		4	
	Naucoridae	5	Empididae		4	
	Notonectidae	5	Limoniidae		4	
	Veliidae	5	Stratiomyidae		4	
	Belostomatidae	4	Tabanidae		4	
Tricoptera	Anomalopsychidae	10	Psychodidae		3	
	Calamoceratidae	10	Chironomidae		2	
	Helicopsychidae	10	Culicidae		2	
	Odontoceridae	10	Ephydriidae		2	
	Hydrobiosidae	8	Muscidae	2		
	Leptoceridae	8	Syrphidae	1		
	Philopotamidae	8				

Fuente: Acosta *et al.*, 2009.

La sumatoria obtenida se compara con la tabla de «estados de calidad ecológica de agua» (Tabla 6.16) propuesta por (Acosta *et al.*, 2009).

**Tabla 6.16.** Estado de la calidad ecológica del agua según el ABI en Perú

Estado de la calidad ecológica	ABI	Color
Muy bueno	>74	Azul
Bueno	45 – 74	Verde
Moderado	27 – 44	Amarillo
Malo	11 – 26	Naranja
Pésimo	<11	Rojo

Fuente: Modificado de Acosta *et al.*, 2009.**D. Índice de macroinvertebrados – loticos para evaluación de caudal (LIFE)**

Este índice creado por *The Environment Agency of England y Wales* (1999) permite relacionar los taxones de macroinvertebrados bentónicos (en este caso familias) a cambios en el caudal, asociando la preferencia de estos taxones a determinados hábitats encontrados en condiciones de menor o mayor caudal. La definición de cada grupo y su preferencia a un determinado hábitat hidráulico se encuentra en la Tabla 6.17. La relación de estos grupos para familias costeras se encuentra en la Tabla 6.18, algunas familias cuya categoría no se encontró, se le asignó por el conocimiento observacional de la preferencia de determinada familia durante la colecta y mediante referencia bibliográfica de sus preferencias ecológicas (Dominguez y Fernández, 2009)

Tabla 6.17. Asociación ecológica de los grupos a las condiciones hidráulicas

Grupo	Asociación ecológica	Velocidad promedio
I	Taxa principalmente asociado a flujos rápidos	>100 cm/s ⁻¹
II	Taxa principalmente asociado a flujo moderados	20-100 cm/s ⁻¹
III	Taxa principalmente asociado a flujos lentos	<20 cm/s ⁻¹
IV	Taxa principalmente asociado entre flujos lentos y la ausencia de este	-
V	Taxa principalmente asociado a la ausencia de flujo	-
VI	Taxa frecuentemente asociado a sitios sin agua	-

Fuente: The Environment Agency of England y Wales, 1999.

Tabla 6.18. Grupos de cada familia de macroinvertebrados bentónicos

Taxón	Grupo	Taxón	Grupo	Taxón	Grupo
Annelida		Diptera		Megaloptera	
Oligochaeta		Blephariceridae	I	Corydalidae	IV
		Chironomidae	II		
Arachnida		Simuliidae	II	Lepidoptera	
Acari		Ceratopogonidae	III	Crambidae	IV
		Empididae	III		
Gasteropoda		Muscidae	III	Hemiptera	
Lymnaeidae	IV	Tipulidae	IV	Naucordiae	IV
Physidae	IV				
		Ephemeroptera			
Coleoptera		Baetidae	II		
Psephenidae	I	Leptohyphidae	II		
Elmidae	II	Leptophlebiidae	II		
Hydrophilidae	IV	Oligoneuriidae	II		
Staphylinidae	VI				
		Trichoptera			
Odonata		Glossosomatidae	II		
Gomphidae	II	Hydrobiosidae	II		
Libellulidae	IV	Hydropsychidae	II		
Coenagrionidae	IV	Hydroptilidae	IV		

Fuente: Modificado de The Environment Agency of England y Wales, 1999.



Una vez determinados los grupos de cada familia, se le asignó un puntaje dependiendo de la cantidad de individuos presentes (Tabla 6.19). Los puntajes obtenidos de la asociación de la abundancia de una determinada familia y su respectiva categoría de abundancia se encuentran en la Tabla 6.20.

Tabla 6.19. Categorías para las abundancias de macroinvertebrados bentónicos

Categoría	Abundancia estimada
A	1-9
B	10-99
C	100-999
D	1000-9999
E	+10000

Fuente: The Environment Agency of England y Wales, 1999.

Tabla 6.20. Puntajes asignados a cada grupo y categoría de abundancia

Grupos	Categoría de abundancia			
	A	B	C	D/E
I	9	10	11	12
II	8	9	10	11
III	7	7	7	7
IV	6	5	4	3
V	5	4	3	2
VI	4	3	2	1

Fuente: The Environment Agency of England y Wales, 1999.

E. Análisis multivariado

a. Diversidad beta

La diversidad beta está referida a la diferenciación de las comunidades a lo largo de un gradiente, sucesión ecológica o el grado de cambio de especies entre 2 o más zonas de análisis (Costa y Melo, 2008). Este tipo de diversidad está determinada por la variación de las características medio ambientales, y el grado de especialización de la biota estudiada.

Para conocer la similitud entre las estaciones, se usó el coeficiente de similitud de Bray Curtis mediante:

$$B = 1 - \frac{\sum_{i=1}^S |X_{ij} - X_{ik}|}{\sum_{i=1}^S [X_{ij} + X_{ik}]} \quad (6.6)$$

Donde:

B : medida de Bray Curtis entre las muestras j y k
 X_{ij} : número de individuos de la especie i en la muestra j
 X_{ik} : número de individuos de la especie i en la muestra k
 S : número de especies

La representación de las similitudes fue observada en los análisis multivariados mencionados a continuación:

b. Escalamiento multidimensional no-métrico (NMDS)

A partir del coeficiente de similitud Bray-Curtis, se obtuvo distancias para el ordenamiento espacial en 2 dimensiones para la ordinación de los puntos de muestreo. Esto permitió determinar el grado de dispersión y agrupamiento de los puntos de muestreo de acuerdo con las zonas. Los NMDS fueron separados por temporadas (junio, julio y setiembre de 2019), sin embargo, el análisis de diversidad beta fue realizado con todas las estaciones en conjunto.



c. Análisis de correspondencia canónicas (CCA)

Propuesto por Ter-Braak (1986) para analizar la influencia de condiciones ambientales en la distribución de especies de flora y fauna. El análisis de correspondencia canónica es una técnica multivariante que maximiza la relación entre una serie de variables dependientes y una serie de variables independientes. En el siguiente estudio las variables dependientes serían: la comunidad de perifiton y macroinvertebrados bentónicos, mientras que las variables independientes serían: los parámetros de calidad de agua y los metales en sedimentos. Esta relación entre variables independientes y dependientes es hecha en base de regresión múltiple. Antes de iniciar el CCA, se hizo una discriminación de las variables que conforman los parámetros de calidad de agua, debido al exceso de variables sobre el número de estaciones. Se descartó las variables cuyo límite de detección se repitió muchas veces, seguido por descartar algunas variables con una correlación por encima de 0,6 con los sólidos totales en suspensión y los sólidos totales disueltos.

6.3.5.3. Camarón de río (*Cryphiops caementarius*)

Las capturas de la especie camarón de río fueron efectuadas haciendo uso de atarraya durante las 3 campañas, un equipo de pesca eléctrico -*electrofischer*- y en ocasiones una colecta manual por extractores experimentados mediante el método del «buceo a pulmón». Dicha operación de pesca se realizó por unidades hidromorfológicas (UHM), dependiendo de la morfología de la zona y, 2 entradas por transectos por un periodo aproximado de 20 minutos, pudiendo variar debido a la dificultad de las condiciones: tipo de fondo y caudal del río.

a. Distribución de frecuencia de tallas

Se agruparon las mediciones en intervalos en clases de 0,5 cm y 1 cm para determinar la distribución de tallas y los grupos modales en los puntos donde se capturó la especie camarón de río. Se realizó un análisis de progresiones modales por medio del método Bhattacharya (1967), el cual sirve para descomponer gráficamente distribuciones plurimodales suponiendo normalidad de estas. No obstante, tiene algunas limitaciones, como la subjetividad en el trazado de las rectas de pendiente negativa o la imposibilidad de determinar cohortes con garantías cuando estas se encuentran solapadas (González, 2010).

b. Relación longitud – peso total y factor de condición

La relación longitud – peso se calculó mediante la ecuación:

$$W = c \cdot L^m \quad (6.7)$$

Donde W es el peso, L es la longitud cefalotorácica o total, y c y m son constantes. El valor numérico de m está normalmente en el rango 2,5 a 6,5; y usualmente cerca de 3 (Hart y Reynolds, 2002). Los valores fueron calculados para cada punto de muestreo para evaluar la condición de la población en las diferentes zonas del área de estudio.

Adicionalmente, se evaluó el factor de condición por estación de muestreo, por zona de afectación y por sexo. La ecuación para obtener dicho valor fue obtenida del reordenamiento de la ecuación de relación longitud-peso, mediante:

$$FC = [IW / IL^m] \cdot 100 \quad (6.8)$$



Donde IW y IL son el peso y la longitud de un individuo respectivamente, y m es el exponente de la relación longitud-peso. Este valor nos permitió analizar diferencias relacionadas a sexo o temporada y la variación en cada zona de afectación del cauce.

c. Aspectos poblacionales

La determinación de sexo se llevó a cabo *in situ*, y mediante inspección visual de cada organismo. De acuerdo a los siguientes criterios: la especie paraguas *Cryphiops caementarius* presenta dimorfismo sexual (Zacarías y Yépez, 2015), los machos presentan un mayor tamaño o desarrollo del segundo periópodo (Viacava, *et al.* 1978). Adicionalmente, la diferencia gonadal proporcionó otra característica distintiva para el reconocimiento del sexo del individuo.

6.1.1.1 Peces

Se realizó una lista de las especies encontradas, una descripción de estas y para realizar un análisis de la información obtenida se realizó una distribución de tallas con longitud total de cada zona evaluada.

6.3.6 Criterios de evaluación

Debido a que no existe un estándar nacional para la calidad de comunidades hidrobiológicas, los resultados del muestreo ambiental ~~serán~~ fueron comparados referencialmente con el Protocolo Simplificado y Guía de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA-S) de Acosta *et al.* 2009, para el caso de macroinvertebrados bentónicos y para el caso de camarón de río a Wasiw y Yépez, 2017.

6.4 Caudal ecológico y preferencia de hábitat

6.4.1 Guías utilizadas para la evaluación

La determinación del caudal se realizó de acuerdo con la R.J. N° 010-2016-ANA «Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales», sección 6.12 «Medición de las condiciones hidrográficas en aguas continentales y marino-costeras».

6.4.2 Ubicación de puntos de muestreo

La ubicación de los tramos de estudio para la evaluación del caudal ecológico fue definida en relación con el acápite 11.1 (definición de tramos y secciones del río) del Anexo 3 de la R.J. N.° 154-2016-ANA, que sugiere la división del área de influencia en 3 zonas.

Por consiguiente, se incluyó una zona «aguas arriba», donde no se presenta el efecto de la alteración del nivel y velocidad del agua (remanso); una zona influenciada, en donde se desvía el caudal, aguas debajo de la bocatoma de la C.H. Cahua; y otra zona «aguas abajo», a partir de la restitución del flujo utilizado por la C.H. Cahua (Tabla 6.21).

Dentro de estas zonas de evaluación se establecieron tramos representativos, los cuales constituyen una muestra del patrón hidro geomorfológico observado en cada zona establecida. En general un tramo representativo presenta áreas que con la particular alternancia de los meso o microhábitat identificados, propios de cada zona de muestreo. Las características comunes a un tramo representativo incluyen: uniformidad geomorfológica (pendiente, geología, sinuosidad, parámetros físicos del cauce), parámetros físicos del cauce, uniformidad sedimentológica y fisicoquímica y un rango de variación de caudales y declividad < 10 % (Bovee *et al.*, 1998, Meador, 1993). La extensión del tramo representativo siguió las recomendaciones para ríos no vadeables de Lyons (1992), Meador (1993) y Harrelson *et al.*, (1994).



En un tramo representativo existen áreas con condiciones hidráulicas homogéneas y características (velocidad, profundidad, sustrato, N.º Froude, etc.) denominadas hábitat o mesohábitat, las cuales tienen relevancia biológica. Estas zonas fueron clasificadas como Unidades hidromorfológicas (UHM) siguiendo el sistema de clasificación de Parasiewicz *et al.* (2009). Así, se establecieron 7 UHM en la «zona aguas arriba» y la «zona de influencia» y 12 UHM en la «zona influenciada» (tablas 6.21, 6.22, 6.23)

Dentro de cada UHM se midieron 2 perfiles de geometría hidráulica para la caracterización de parámetros hidráulicos. Estos perfiles tuvieron características homogéneas que representaron el carácter hidromorfológico de cada UHM (Parasiewicz 2007, Vezza *et al.* 2012). Por ello, la ubicación de los perfiles obedeció principalmente, a secciones que representaron de manera fidedigna el espectro de condiciones de tirante, velocidad y geomorfología de cada UHM. En total se establecieron 52 perfiles de geometría hidráulica.

Tabla 6.21. Ubicación de unidades hidromorfológicas (UHM) en la zona I (control)

UHM/Punto	Margen derecho			Margen izquierdo		
	UTM WGS 84 Zona 18L		Altitud (m s.n.m.)	UTM WGS 84 Zona 18L		Altitud (m s.n.m.)
	Este (m)	Norte (m)		Este (m)	Norte (m)	
UHM1	256889,56	8832826,1	1150,58	256835,27	8832650,1	1137,58
P67	256902,44	8832815,9	1152,41	256871,41	8832791,1	1142,47
P68	256910,69	8832795,5	1159,72	256880,05	8832777	1142,58
UHM2	256913,15	8832788,2	1146,98	256853,58	8832615,3	1142,52
P69	256936,8	8832771,8	1157,06	256900,66	8832742,3	1153,07
P70	256940,17	8832760,1	1137,88	256905,24	8832729,9	1149,08
UHM3	256944,33	8832744,9	1151,47	256876,36	8832567,8	1146,9
P71	256944,97	8832731,4	1143,39	256915,31	8832714,4	1158,69
P72	256943,53	8832719,3	1125,05	256918,25	8832701,7	1155,06
UHM4	256951,61	8832707	1154,72	256898,87	8832527,4	1147,64
P73	256964,29	8832678,6	1131,27	256951,76	8832669,4	1156,55
P74	256978,95	8832664,5	1131,95	256968,72	8832655,4	1142
UHM5	256984,94	8832653,4	1154,39	256952,39	8832499,2	1149,28
P75	257034,15	8832616,2	1136,63	257039,87	8832612,5	1156,26
P76	257076,14	8832607,8	1149,94	257061	8832595	1144,68
UHM6	257090,31	8832601,2	1154,19	257055,24	8832431,2	1142,12
P77	257179,69	8832595,8	1142,09	257113	8832582,8	1149,85
P78	257247,21	8832601,4	1141,65	257178,71	8832580,2	1157,3
UHM7	257248,68	8832595	1158,6	257217,41	8832429,5	1151,64
P79	257276,71	8832594,5	1143,75	257246,33	8832586,2	1157,16
P80	257323,43	8832583,4	1129,09	257332,51	8832584,6	1151,9
Fin UHM 7	257377,12	8832565,3	1159	257325,81	8832412,4	1154,14

Tabla 6.22. Ubicación de unidades hidromorfológicas (UHM) en la zona II (caudal reducido)

UHM/Punto	Margen derecho			Margen izquierdo		
	UTM WGS 84 Zona 18L		Altitud (m s.n.m.)	UTM WGS 84 Zona 18L		Altitud (m s.n.m.)
	Este (m)	Norte (m)		(m s.n.m.)	Norte (m)	
UHM1	254494,64	8833048,2	1091,11	254498,03	8833017,4	1090,82
P1	254548	8833194,6	1079,96	254546,73	8833202,9	1088,77
P2	254579,27	8833185,3	1083,78	254588,35	8833200,9	1072,39
UHM2	254590,00	8833018,2	1088,59	254585,02	8833009,5	1084,38
P3	254641,65	8833144,1	1074,68	254648,35	8833155,2	1074,49
P4	254691,18	8833138,6	1074,8	254694,51	8833147,1	1067,89
UHM 3	254700,25	8833003,1	1100,03	254708,99	8832990,8	1074,25
P5	254789,31	8833179,7	1094,8	254788,93	8833186,9	1072,7
P6	254831,73	8833204,9	1098,68	254827,62	8833212,6	1112,76



«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad»

UHM/Punto	Margen derecho			Margen izquierdo		
	UTM WGS 84 Zona 18L		Altitud	UTM WGS 84 Zona 18L		Altitud
	Este (m)	Norte (m)	(m s.n.m.)	(m s.n.m.)	Norte (m)	(m s.n.m.)
UHM4	254806,58	8833061,5	1092,63	254807,86	8833051,1	1094,58
P7	254867,53	8833220,8	1095,18	254860,27	8833224,1	1097,00
P8	254876,27	8833238,2	1115,41	254827,62	8833212,6	1112,76
Fin UHM4	254851,73	8833102,1	1093,29	254858,04	8833107,4	1094,72
UHM5	255725,44	8833303,5	1139,00	255728,03	8833293,8	1126,32
P8	255769,6	8833438,8	1127,76	255774,52	8833455	1128,03
P10	255818,25	8833434,4	1121,27	255820,25	8833444,9	1126,68
UHM 6	255817,18	8833274,8	1116,24	255825,43	8833269,6	1119,36
P11	255874,73	8833405,1	1159,34	255877,77	8833423,8	1118,83
P12	255897,76	8833400,6	1125,4	255904,84	8833420,9	1118,73
UHM7	255923,98	8833252,8	1112,38	255925,81	8833241,1	1107,82
P13	255968,07	8833383,1	1123,78	255971,35	8833399	1123,35
P14	255992,09	8833377,3	1120,73	255999,72	8833397,7	1117,14
UHM8	255988,72	8833232,9	1125,31	255983	8833220,6	1124,56
P15	256019,71	8833373,5	1143,71	256027,49	8833387,4	1128,64
P16	256043,56	8833359,7	1144,7	256049,38	8833373,7	1126,39
UHM9	256052,43	8833204	1123,33	256050,61	8833197,7	1125,18
P17	256160,72	8833344,2	1122,93	256160,84	8833357,7	1119,18
P18	256229,56	8833348,9	1121,69	256227,16	8833362,7	1116,07
Fin UHM9	256230,88	8833205,9	1131,41	256231,11	8833204,4	1133,88
UHM 10	251492,87	8831770,9	1019,69	251466,47	8831599,5	1018,9
P81	251514,65	8831772,7	1024,06	251490,47	8831799,5	996,55
P82	251571,15	8831862,2	1023,41	251551,25	8831873	1032,54
UHM11	251558,21	8831826,3	1020,37	251570,92	8831825,8	1021,16
P83	251618,29	8832020	1033,01	251605,89	8832024,3	1031,6
P84	251628,64	8832042,3	1032,46	251610,67	8832043,6	1038,97
UHM12	251589,11	8831928,4	1011,57	251593,94	8831926,8	1015,27
P85	251631,29	8832099,1	1041,45	251623,12	8832108,3	1040,25
P86	251667,21	8832174,4	1042,16	251658,2	8832178,5	1036,78
Fin UHM 12	251620,69	8832042,9	1020,84	251633,65	8832052,5	1020,54

Tabla 6.23. Ubicación de unidades hidromorfológicas (UHM) en la zona III (influencia)

Código	Margen derecho			Margen izquierdo		
	UTM WGS 84 Zona 18L		Altitud	UTM WGS 84 Zona 18L		Altitud
	Este (m)	Norte (m)	(m s.n.m.)	Este (m)	Norte (m)	(m s.n.m.)
UHM1	243604,56	8827145,5	816,05	243594,71	8826992,7	827,47
P19	243612,24	8827173	822,87	243602,96	8827168,8	831,73
P20	243613,7	8827182,6	817,97	243610,75	8827180,9	831,88
UHM2	243604,57	8827187,6	832,85	243580,98	8827027,7	837,57
P21	243608,19	8827201,8	802,87	243602,61	8827200,9	832,91
P22	243622,83	8827220,4	809,09	243605,13	8827229,2	822,99
UHM3	243610,64	8827239,5	828,45	243594,99	8827071,7	820,13
P23	243672,89	8827275,0	816,35	243652,87	8827287,7	825,09
P24	243692,00	8827295,0	831,01	243663,97	8827310,7	818,71
UHM4	242257,63	8826301,1	779,73	242292,22	8826436,8	786,04
P25	242305,78	8826467,0	782,41	242300,21	8826465,0	769,56
P26	242397,76	8826508,1	778,55	242393,39	8826506,7	783,28
UHM5	242396,67	8826373,5	776,75	242430,88	8826500,1	780,01
P27	242442,83	8826526,9	770,98	242438,24	8826531,2	786,39
P28	242455,06	8826531,7	772,55	242449,00	8826533,5	772,47
UHM6	242435,86	8826387,6	779,21	242475,83	8826520,6	770,89
P29	242507,04	8826548,5	763,99	242501,78	8826549,9	772,37
P30	242520,77	8826557,1	772,14	242516,65	8826552,2	779,71
UHM7	242517,64	8826416,7	771,79	242558,43	8826557,1	776,73
P31	242581,29	8826589,3	772,22	242574,85	8826586,4	776,23
P32	242620,73	8826600,1	776,82	242616,8	8826599,3	778,75
Fin UHM 7	242663,28	8826455,0	775,61	242690,19	8826594,1	790,2



6.4.3 Parámetros y métodos de análisis

a. Medición de parámetros para el modelo de caudal ecológico

Se tomaron variables de hábitat o descriptores para caracterizar las UHM y su cambio en cada período hidrológico de acuerdo con lo preconizado por Parasiewicz (2007) y Veza *et al.* (2012) (Tabla 6.24).

Tabla 6.24. Parámetros para evaluar caudal ecológico específico en el área de influencia de la C.H. Cahua

Nombre de Variable	Unidad	Tipo de variable	Clases	Categoría/descripción	Medición
Unidad Hidromorfológica (UHM)	-	Hidromorfología	13	Ver A.1 (Tabla 6.26)	Tabla 6.25
Gradiente de UHM	-	Hidromorfología	3	Bajo, Moderado, Alto	Observacional
Sustrato Dominante	-	Hidromorfología	12	Megalithal (>40 cm.), Macrolithal (20-40cm), Mesolithal(6-20cm.), Microlithal (2-6cm), Akal (grava pequeña) Psammal (arena), Detritus (restos de materia orgánica), Xylal (ramas), Sapropel (lodos orgánicos), Phytal (vegetación sumergidas y raíces), Debris (restos orgánicos e inorgánicos arrastrados por la corriente a la orilla), Pelal (<0.063 mm).	Observacional
Cobertura	-	Hidromorfología	9	Vegetación sumergida, margen izquierdo superficial, margen derecho superficial, bolones, orilla socavada, restos de troncos, sombra de cobertura ribereña, vegetación sobresaliendo de la orilla.	Observacional
Incrustamiento	-	Hidromorfología	5	Incrustamiento de 0%, incrustamiento de 1-25%, incrustamiento de 26-50%, incrustamiento de 51-75% y e incrustamiento de 76-100%.	Observacional
Hidráulica	%	Hidromorfología	9	Shallow slow (Lento y superficial), shallow flows (superficial y medianamente rápido), Shallow fast (superficial y rápido), wading slow (vadeable y lento), wading flows (vadeable medianamente rápido), wading fast (vadeable y rápido), deep slow (profundo y lento), deep flows	Observacional



«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad»

Nombre de Variable	Unidad	Tipo de variable	Clases	Categoría/descripción	Medición
				(profundo medianamente rápido), , deep fast(profundo y rápido)	
Temperatura del agua	°C	Fisicoquímica	1	Valor al nivel del lugar	Multiparámetro digital
pH del agua	Unidades de potencial de hidrógeno	Fisicoquímica	1	Valor al nivel del lugar	Multiparámetro digital
Conductividad del agua	µS/cm	Fisicoquímica	1	Valor al nivel del lugar	Multiparámetro digital
Oxígeno disuelto del agua	mg.L-1	Fisicoquímica	1	Valor al nivel del lugar	Multiparámetro digital
Sólidos disueltos del agua	mg.L-1	Fisicoquímica	1	Valor al nivel del lugar	Multiparámetro digital
Sólidos en suspensión	mg.L-1	Fisicoquímica	1	Valor al nivel del lugar	Fotocolorímetro
Turbidez	NTU	Fisicoquímica	1	Valor al nivel del lugar	Turbidímetro
Alcalinidad	ppm CaCO ₃	Fisicoquímica	1	Valor al nivel del lugar	Fotocolorímetro
Dureza	mg.L-1 CaCO ₃	Fisicoquímica	1	Valor al nivel del lugar	Multiparámetro digital
Tipo de sustrato	%	Hidromorfología	6	Tabla 6.25	Tabla 6.25
Caudal	m ³ /s	Hidromorfología	1	Ecuación 6.9	Ecuación 6.9
Ancho mojado promedio	m	Hidromorfología	1	Valor al nivel del lugar	Cinta de medir a través del río y distanciómetro digital Leica Disto D10 de 0,01 cm de precisión
Velocidad	m/s	Hidromorfología	1	De flujo desviación estándar sobre el Área del UHM.	Correntómetro Flow watch de 0,01 m/s de resolución
Profundidad	m	Hidromorfología	1	Valor al nivel del lugar	
Numero Froude	Fr	Hidromorfología		Media de los valores de Fr DE cada profundidad por UHM	$Fr = Vm / (9,81 \cdot D)^{0.5}$ Donde: (Vm = Velocidad media del agua; D= profundidad)
Percentiles de Velocidad	m/s	Hidromorfología	4	Q5, Q25, Q75, Q95	Q5, Q25, Q75, Q95
Percentiles de Profundidad	m	Hidromorfología	4	Q5, Q25, Q75, Q95	Q5, Q25, Q75, Q95

(-): No aplica para esta variable

b. Unidades hidromorfológicas

En la Tabla 6.25 se presenta las unidades hidromorfológicas evaluadas en campo

Tabla 6.25. Definición de unidades hidromorfológicas empleadas en MesoHABSIM

Unidad hidromorfológica (UHM)		Descripción
<i>Pool</i>	Poza	Zonas profundas con poca velocidad del agua, cascadas por algún tipo de obstrucción en el cauce. Lecho con forma cóncava.
<i>Plunge pool</i>	Poza tras cascada	La corriente principal pasa por encima de una obstrucción total del cauce y cae verticalmente, excavando el lecho del río.
<i>Glide</i>	Tabla	Cauces moderadamente someros, con flujo laminar, sin turbulencias pronunciadas. Lecho plano.
<i>Backwater</i>	Remanso	Áreas someras y de aguas quietas en las márgenes del cauce, causadas por remolinos formados detrás de obstrucciones.
<i>Side arm</i>	Brazo lateral	Zonas que rodean islotes, de anchura menor que la mitad de la anchura total del cauce, con frecuencia a diferente altura que el cauce principal.
<i>Run</i>	Corriente	Cauce monótono con un cauce bien definido. El lecho es plano longitudinalmente y cóncavo lateralmente.



Unidad hidromorfológica (UHM)		Descripción
<i>Fast run</i>	Corriente rápida	Cauce uniforme y con alta velocidad del agua.
<i>Ruffle</i>	Rápido bajo	Rápidos con menos caudal, de flujo laminar
<i>Riffle</i>	Rápido medio	Zonas someras con velocidad del agua moderada, algo de turbulencia en la superficie y pendiente elevada. Lecho de forma convexa.
<i>Cascade</i>	Cascada	Rápidos escalonados con pequeños saltos de agua y con pozas muy pequeñas detrás de los bloques.
<i>Cascade step</i>	Cascada continua	Pequeñas caídas de agua continuas
<i>Cascade pool</i>	Cascada - poza	Cascada seguido de poza pequeña

Fuente: Modificado de MesoHABSIM (Según (Parasiewicz, P., Gortázar, J., Sánchez, M. M., & de Jalón Lastra, 2009), modificadas de Dolloff, Jennings, y Owen (1997) y (Bisson, Montgomery y Buffington, 2006)

c. Granulometría

En cada UHM se tomó una muestra de 500 g de sedimento para realizar la determinación de la granulometría. Se utilizó la técnica de triado en húmedo (Suguio, 2003), siguiendo la escala de Wentworth (1922) modificada (Tabla 6.26).

Tabla 6.26. Escala granulométrica modificada

Diámetro de malla(μs)	Partícula Sedimentaria
4000	Canto Rodado
2000	Grava
500	Arena Gruesa
250	Arena Media
125	Arena Fina
63	Limo
<63	Arcilla

Fuente: Wentworth (1922).

d. Medición de caudal

La metodología empleada siguió los lineamientos de la R.J. N.º 010-2016-ANA «Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales», sección 6.12 «Medición de las condiciones hidrográficas en aguas continentales y marino-costeras y el estándar sobre la materia establecido por Meals y Dressing, S. A. (2008). Adicionalmente se siguió las recomendaciones de Harrelson *et al.* (1994) y de Herschy (1995) para que, en lo posible, la contribución de cada celda de aforo sea del 10 % (Harrelson *et al.*, 1994) y el error relativo de medición aleatorio sea inferior al 7 %.

El caudal se determinó multiplicando la velocidad media de una sección transversal por su área. El área de sección transversal se midió por el estiramiento de una cinta de medir a través del río y con distanciómetro digital Leica Disto D10 de 0,01 cm de precisión. La profundidad se determinó con una varilla métrica y en zonas de profundidad mayores a 1,5 m, mediante sonda de profundidad *Deeper Smart Sonar* CHIRP+. Se realizó la medición de velocidad con un correntómetro *Flow watch* de 0,01 m/s de resolución.

De manera general el caudal se midió como

$$Q=A*V \quad (6.9)$$

donde:

Q= caudal;

A= área de la sección,

V= velocidad media de la sección.



6.4.4 Procesamiento de datos

La determinación del caudal ecológico se llevó a cabo utilizando un modelo holístico que vinculó los diferentes componentes del régimen hidrológico con los componentes de los procesos ecológicos.

A. MesoHABSIM

Basándose en las características observadas del río Pativilca en la zona de influencia de la C.H. Cahua y las recomendaciones estipuladas en el acápite 13 del Anexo N.º 3 de la R.J. N.º 154-2016-ANA metodología para determinar caudal ecológico; se propone el uso del modelo ecosistémico²⁶ MesoHABSIM (Parasiewicz, 2001; Parasiewicz, 2007). Este enfoque de modelamiento permitió calcular cuánto hábitat estuvo disponible para *Cryphiops caementarius* (camarón de río) bajo características ambientales específicas.

Debido a la movilidad natural del camarón de río, patrones de migración y localización de acuerdo con su ciclo de vida, la observación a una mesoescala está menos afectada por coincidencias que la observación a una microescala. Por lo tanto, este enfoque a mesoescala puede aportar ciertas pistas significativas acerca de las condiciones de vida preferidas por nuestra especie paraguas (Hardy y Addley, 2001).

Desde la perspectiva del Método MesoHABSIM, un meso-hábitat es un área específica para una especie en una determinada fase de su ciclo vital en donde la configuración de patrones hidráulicos junto con aquellos atributos que proveen refugio crea condiciones favorables para su supervivencia y desarrollo (Parasiewicz, 2007). Consecuentemente, mesohabitat comúnmente corresponde en tamaño y localización, al menos para adultos de una especie, con una unidad hidromorfológica (UHM).

El enfoque MesoHABSIM sigue una estructura típica de modelos de hábitat y está compuesto del acoplamiento de 3 modelos:

- Modelo hidromorfológico que describe las características físicas relevantes a la especie paraguas.
- Modelo biológico que describe el uso del hábitat por la especie.
- Modelo de hábitat que cuantifica la cantidad de hábitat adecuado y lo relaciona con el caudal.

a. Modelo hidromorfológico

Aquí la selección del procedimiento más efectivo depende en el tamaño del área a ser evaluada. Se llevarán a cabo 3 evaluaciones:

- Evaluación de reconocimiento; en donde se realizaron la cuantificación de las UHM.
- Evaluación de mesohabitat; para determinar la proporción espacial de los mesohabitat dentro de los UHM.
- Mapeo repetitivo, la colecta de data se realizó de 3 a 4 veces correspondientes con periodos con diferente condición de caudal.

b. Modelo biológico

Los atributos ambientales fueron usados como variables independientes y la data obtenida de la evaluación de población de camarón de río actuó como variable dependiente para llevar a cabo un modelo de regresión que describa el uso de hábitat.

Antes de calcular las funciones de respuesta, se realizó un análisis de correlación cruzada para eliminar aquellos parámetros redundantes de nuestros cálculos. Para ello, se empleó

²⁶ El término «ecosistémico» es adoptado en vez de «holístico» como es sugerido por Arthington (2012).



una regresión logística para identificar aquellas características relevantes del hábitat para el camarón de río.

Para discernir entre un hábitat adecuado y uno no-adequado, se usó variables binarias-dependientes indicando presencia/ausencia de camarones. Para distinguir entre hábitat adecuado y uno óptimo-adequado, se construyó 2 modelos binarios; uno usando presencia/ausencia de la especie y otro usando alta/baja abundancia como variable dependiente.

c. Modelo de hábitat

Por cada mesohabitat mapeado durante las evaluaciones de sitios representativos, se especificará si el mismo es no-adequado, adecuado u óptimo-adequado. Estas categorías son una función de la probabilidad de presencia y alta abundancia del camarón de río. Dicha probabilidad está determinada por la ecuación:

$$p = \frac{1}{(1 + e^{-z})} \quad (6.10)$$

Donde:

p es la probabilidad de presencia/alta abundancia;

$Z = b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + \dots + b_n \cdot x_n + a$; x_1, \dots

x_n = variables físicas significativas

b_1, \dots, b_n son los coeficientes de regresión.

Posteriormente, la probabilidad es clasificada en categorías de idoneidad mediante el análisis de la curva de características operativas (ROC) y las predicciones de presencia y abundancia (Metz, 1986; Pearce y Ferrier, 2000). Mediante el ploteo de proporciones de secciones de río que predijeron acertadamente ocupación por camarones (proporción positiva verdadera), y las proporciones que incorrectamente predijeron ocupación (proporción positiva falsa) se examina el poder de discriminación del modelo en varios niveles límite.

Finalmente, la porción del canal de río con área idónea u óptima-adequada para el camarón de río en un estado específico de su ciclo de vida fueron resumidos en un mapa digital y unidos a los mapas de caudal.

6.4.5 Criterios de evaluación

a. Relación caudal Hábitat

Una vez que se recopilaban los datos hidromorfológicos y se definieron los requisitos biológicos, fue necesario modelar como varían estas condiciones ambientales con la descarga.

Con los resultados de los coeficientes de la regresión logística se determinó la probabilidad que en una UHM cumpla la condición impuesta por el modelo, sea de presencia/ausencia o abundancia/no abundancia de *Cryphiops caementarius*, obteniéndose el índice probabilístico de hábitat (HPI, Guay et al, 2000) para cada condición de hábitat. Los valores de este índice se compararon con el valor cutt off (valor de corte) del índice Max Kappa (Freeman and Moisen, 2008), derivado de la curva ROC para determinar la inclusión del valor HPI de una determinada UHM en el modelo. Así, a cada flujo medido y la presencia/abundancia de *Cryphiops caementarius* le corresponderá un valor de hábitat efectivo para su presencia o abundancia.

Se utilizó como factor de ponderación los factores 0,25 (presente) y 0,75 (abundante) (Parasiewicz, 2007) para la determinación del valor final de hábitat de una UHM. Los porcentajes del área de canal disponible con hábitat habitable (presencia/ausencia) y óptimo



(abundante/no abundante) fueron sumados para la determinación del hábitat total disponible para una determinada descarga. Con estos valores se construyó una función lineal para hábitat-caudal, siendo posible interpolar la cantidad de hábitat para otros valores diferentes a los medidos en el trabajo de campo (Veza *et al.*, 2012). Normalmente, el requisito de flujo mínimo se define en el punto de inflexión de la curva, para evitar una disminución rápida en términos de área adecuada para descargas de flujo inferior (Jowett, 1997).

b. Enfoque de árboles de decisión (Random Forest)

Se utilizó el enfoque de árboles de decisión para validar los modelos de regresión logística obtenidos. Al igual que la regresión logística utilizada para los modelos de hábitat, el enfoque de árboles de decisión es una técnica de clasificación no paramétrica que construye un modelo jerárquico supervisado que predice la pertenencia de cada observación (en este caso UHM) a un determinado conjunto de datos, utilizando la partición recursiva binaria (Breiman, 2001).

En el caso de la matriz de datos analizada el enfoque de árboles seleccionó a un predictor o grupo de predictores que genera un árbol respuesta a la pertenencia de una determinada UHM en la categoría presencia/ausencia y/o abundante/no abundante. Si bien es una técnica diferente a la regresión logística y usa otros algoritmos, siendo ambos métodos de clasificación, es deseable que las variables seleccionadas que condicionan la presencia/ausencia y/o abundante no abundante, sean coincidentes en ambos modelos.

Entretanto, los árboles de decisión focalizaron su clasificación sobre las variables cuantitativas, por lo que en caso de que las variables de hábitat de tipo factor o lógicas sean las que más condicionan la disponibilidad de hábitat, los resultados podrían no ser coincidentes (Veza *et al.* 2010).

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este ítem se analiza los resultados obtenidos durante la evaluación ambiental en el área de influencia de la C.H. Cahua durante el año 2019. Los resultados son presentados en 4 partes: agua, sedimentos, comunidades hidrobiológicas y, estimación de caudal ecológico y preferencia de hábitat. En la Figura 7.1 se muestra un esquema de la distribución de puntos de muestreo de agua superficial, agua turbinada, sedimentos y comunidades hidrobiológicas. Asimismo, se indican los subsectores donde se realizaron colecta de camarones, peces y medición de caudal.

7.1 Agua

En los Anexos 5, 6 y 7 (reporte de resultados 0339-2019-SSIM; 0413-2019-SSIM; 0441-2019-SSIM) se encuentran los resultados de calidad de agua superficial y turbinada de todos los parámetros evaluados durante el año 2019 en el río Pativilca y quebrada Carhuan.

7.1.1 Comparación con las normativas vigente

El pH se registró fuera del rango de los ECA para Agua (2017): en el río Pativilca, en los meses de junio, julio y setiembre de 2019, en el punto de muestreo RPat-3 (Cat3D1 y Cat3D2); en julio 2019, en los puntos de muestreo RPat-1, RPat-4 y RPat-18 (Cat3D2); en setiembre de 2019, en los puntos de muestreo RPat-11, RPat-10, RPat-4 y RPat-18 (Cat3D2); y en la quebrada Carhuan en setiembre de 2019, en el punto de muestreo QCar-1 (Cat3D1 y Cat3D2).

Los demás parámetros fisicoquímicos evaluados en los meses de junio, julio y setiembre 2019 se encontraron dentro del rango establecido en los ECA para Agua (2017), Cat3D1 y CatD2.

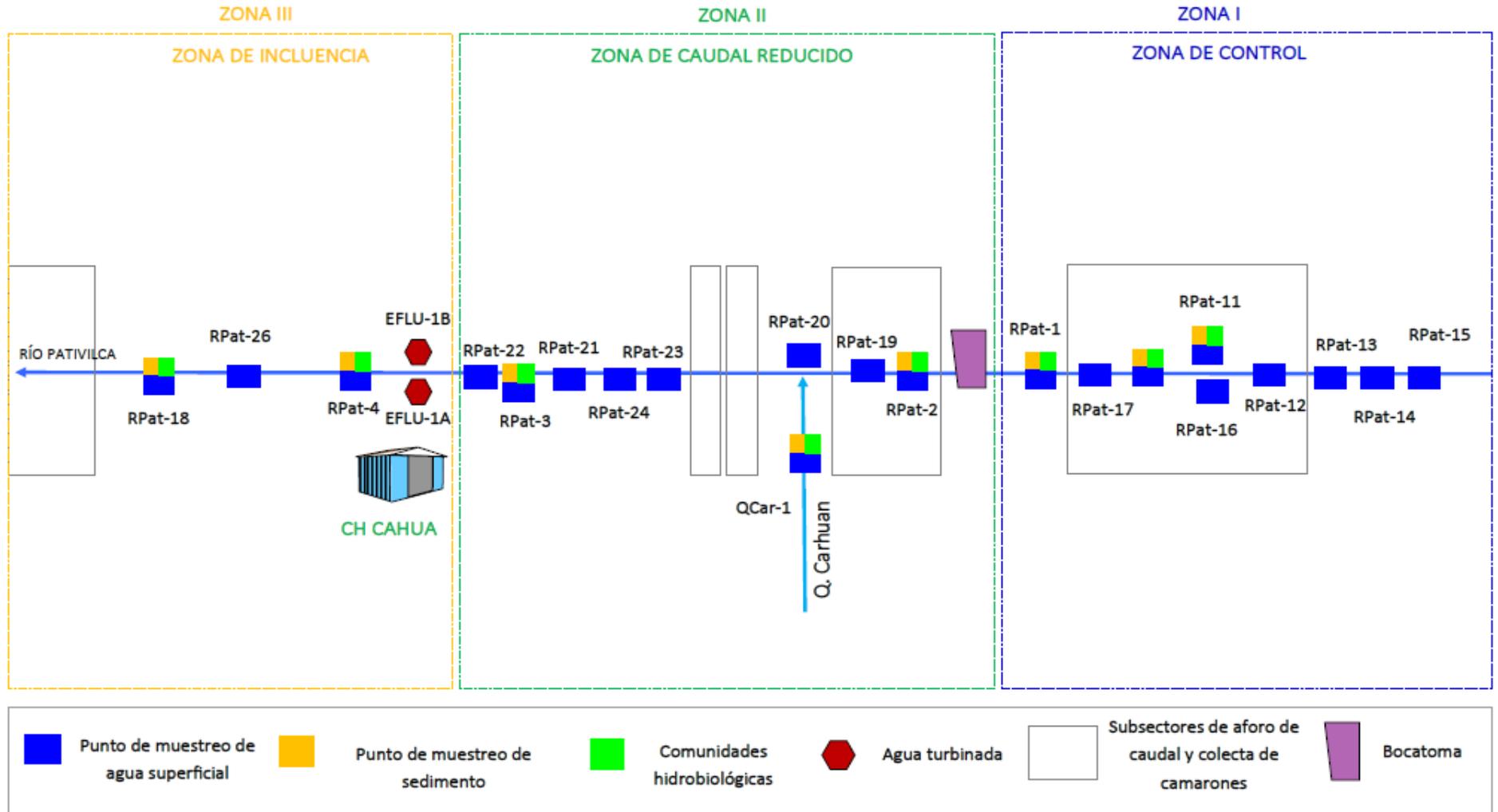


Figura 7.1. Esquema de distribución de puntos evaluados en el área de influencia de la C.H. Cahua



En la Tabla 7.1 se muestra el resumen de los parámetros que excedieron los ECA para Agua (2017) categoría 3 y en la Figura 7.2 la comparación respecto a los demás puntos en los 3 meses evaluados.

Tabla 7.1. Parámetros que excedieron los ECA para Agua (2017)

Table with 8 columns: Cuerpo de agua, Punto de muestreo, Junio 2019 (primer monitoreo), Julio 2019 (segundo monitoreo), setiembre 2019 (tercer monitoreo). Rows include Río Pativilca, Quebrada Carhuan, and Río Pativilca with various sampling points and parameters like pH.

ECA: Estándares de Calidad Ambiental para Agua. Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM. Fuente: Anexo 5 (R.R.0441-2019-SSIM), Anexo 6 (R.R..0500-2019-SSIM), Anexo 7 (R.R.0500-2019-SSIM)

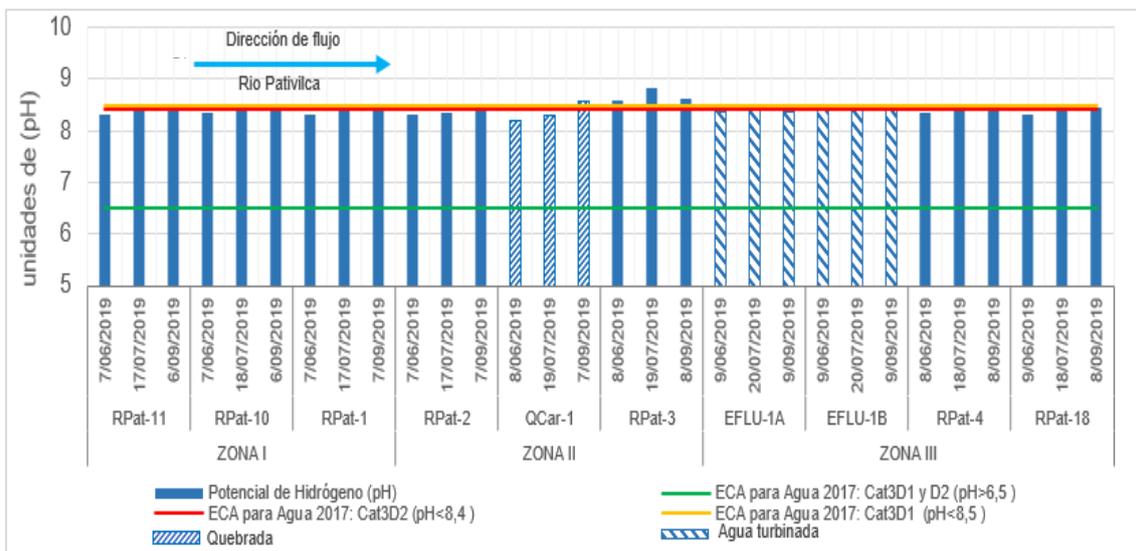


Figura 7.2. Valores de potencial de hidrogeno (pH) comparada con los ECA para Agua (2017) categoría 3: D1 y D2

Respecto a los demás parámetros de campo a continuación se mencionan los principales rangos de variación entre los meses de junio, julio y setiembre de 2019:

En la zona I la variación fue de: entre 8,32 unidades de pH a 8,46 de unidades de pH; conductividad eléctrica entre 371 µS/cm a 428 µS/cm; el oxígeno disuelto varió de 7,47 mg/L a 8,21 mg/L y, la temperatura varió de 19, 4 a 22, 1 °C.

En la zona II la variación fue de: entre 8,32 unidades de pH a 8,84 de unidades de pH; la conductividad eléctrica varió entre 359 µS/cm a 446 µS/cm, el oxígeno disuelto de 7,86 mg/L a 8,26 mg/L; la temperatura varió de 19, 4 °C a 24,4 °C.

En la quebrada Carhuan (QCar-1) la variación fue de 8,19 unidades de pH a 8,58 de unidades de pH; la conductividad eléctrica entre 183,7 µS/cm a 266 µS/cm; el oxígeno disuelto varió de 7,39 mg/L a 8,73 mg/L y la temperatura de 21,9 °C a 24,8 °C.



«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad»

En la zona III la variación fue de: 8,3 unidades de pH a 8,45 de unidades de pH; conductividad eléctrica entre 371 µS/cm a 430 µS/cm, el oxígeno disuelto de 8,09 mg/L a 8,8 mg/L y la temperatura varió de 18,7 °C a 21,9 °C.

En los puntos de agua turbinada el valor de pH varió de: 8,36 unidades de pH a 8,44 de unidades de pH. La conductividad eléctrica varió entre 373 µS/cm a 500 µS/cm: el oxígeno disuelto de 8,14 mg/L a 8,46 mg/L y la temperatura de 20,3°C a 21,1 °C.

Adicionalmente, en las Figuras 7.4 y 7.5 se muestra la variación de los sólidos suspendidos totales y sólidos suspendidos disueltos respectivamente. Se aprecia que la quebrada Carhuan (QCar-1) tiene las más bajas concentraciones de sólidos totales disueltos y un ligero incremento en los sólidos totales disueltos en la descarga de aguas turbinadas respecto al punto de muestro RPat-3.

Respecto a los sólidos totales suspendidos se aprecia que en julio de 2019 se registraron los más altos valores de sólidos totales suspendidos respecto a los meses de junio y setiembre de 2019. Sin embargo, en los puntos de muestreo RPat-3 y QCar-1 se registraron los más bajos valores en los 3 meses evaluados.

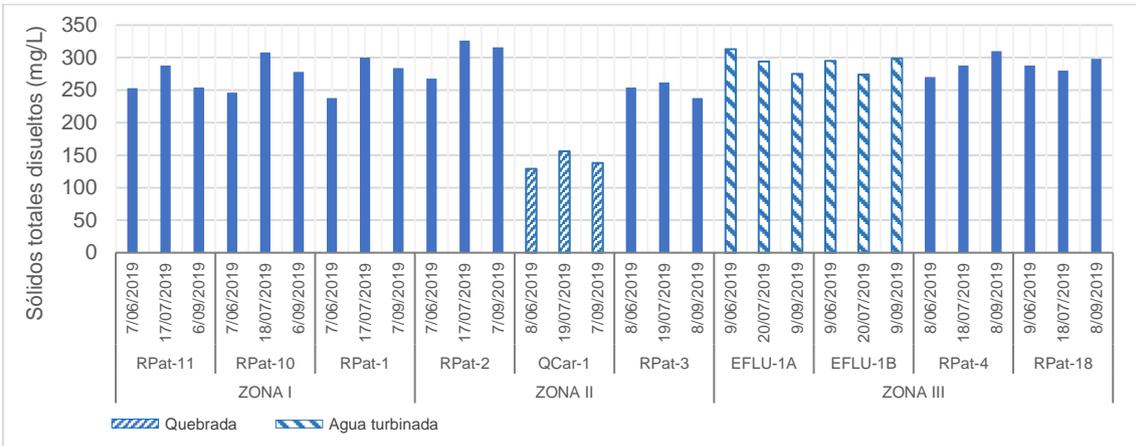


Figura 7.3. Valores de sólidos totales disueltos

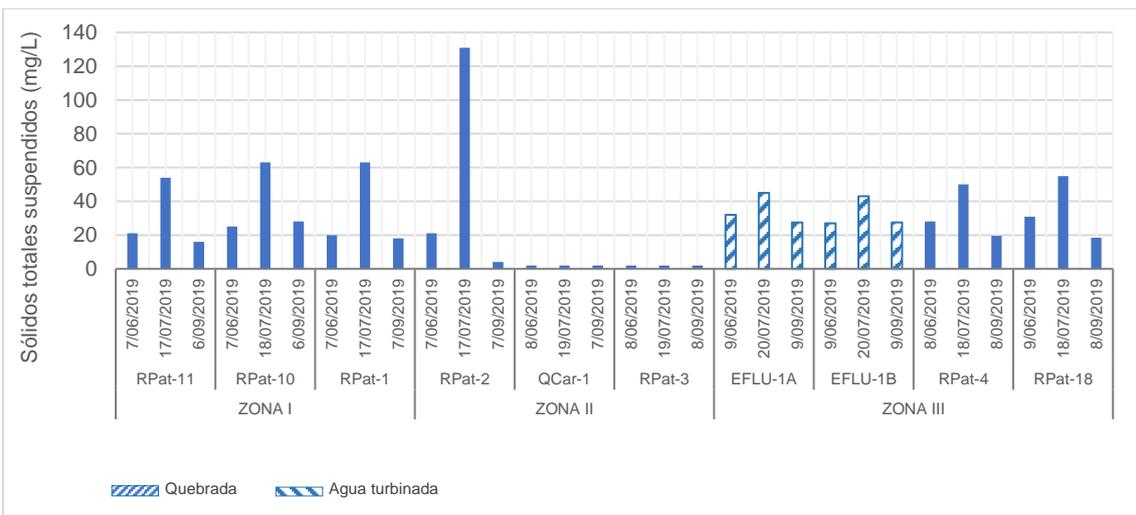


Figura 7.4. Valores de sólidos totales suspendidos

7.1.2 Relación de parámetro

Se establecieron las asociaciones entre los parámetros relacionados a la conductividad, el comportamiento de los metales totales y disueltos como base para el análisis multivariado de los resultados de calidad de agua de junio, julio y setiembre 2019.

7.1.2.1 Relación entre la conductividad y los sólidos disueltos totales (STD)

Se presenta los gráficos de dispersión en los que se muestra la relación lineal de las concentraciones de los sólidos disueltos totales (SDT) con los valores de la conductividad de todos los puntos de muestreo.

En base a dicho resultado, se calcularon las relaciones lineales respectivas por cada mes evaluado. Estas relaciones estuvieron indicadas por el cuadrado del coeficiente de correlación de Pearson o coeficiente de determinación (R^2), para lo cual se consideró un valor de R^2 mayor a 0,95 como un indicador de buena correlación entre los parámetros.

De esa manera, en la Figura 7.5 se muestra la relación lineal entre la conductividad y los SDT en los cuerpos de agua evaluados obtuvieron una correlación para el mes de junio con un R^2 de 0,9032, para julio R^2 de 0,7919 y para setiembre un R^2 de 0,7919 por lo que se puede observar una buena correlación entre los parámetros para todas las temporadas ($R^2 > 0,79$).

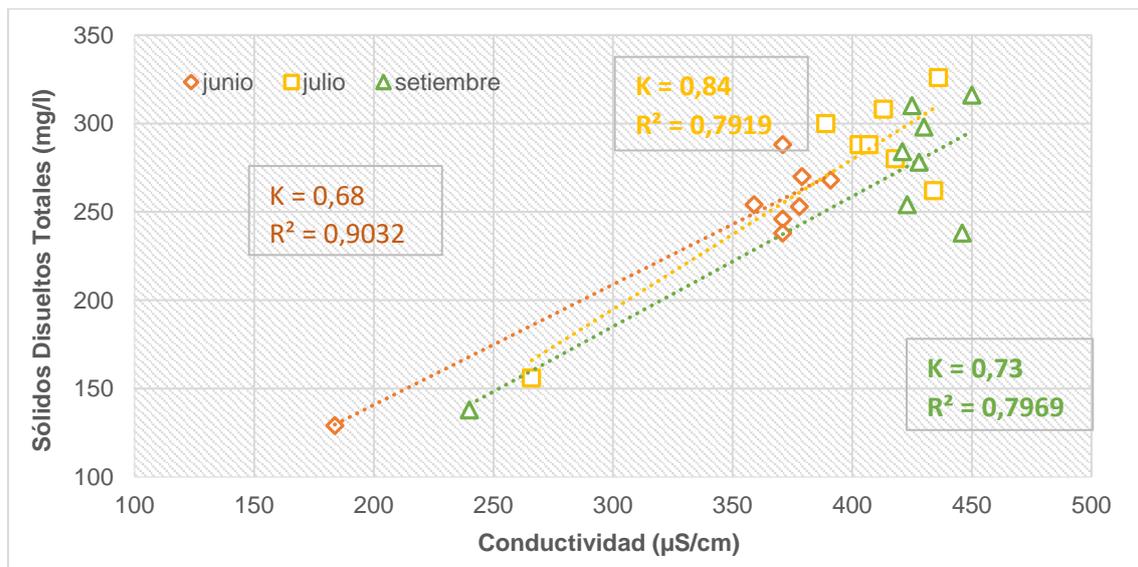


Figura 7.5. Relación lineal entre la conductividad y los sólidos disueltos totales (SDT) de los puntos de muestreo evaluados en junio, julio y setiembre 2019

Asimismo, los valores de las pendientes k (TDS/Conductividad) fueron 0,68 para junio, 0,84 para julio y 0,73 para setiembre de 2019. Encontrándose en el rango aproximado de 0,65 a 0,8 a una concentración mayor de los sólidos disueltos totales, según lo establecido referencialmente por Walton (1989) para el agua dulce (Figura 6.1).

7.1.2.2 Relación metales disueltos

En esta subsección, se presentan la relación en porcentaje de los metales disueltos respecto a los metales totales. De los resultados obtenidos se destacaron aquellos metales cuyos porcentajes superaron el 50 %.



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA

SSIM: Subdirección de Sitios Impactados

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad»

Tabla 7.2. Porcentaje de metales disueltos en los puntos de muestreo en el área de influencia de la C.H. Cahua

Table with 23 columns (Puntos de muestreo, Mes evaluado, Aluminio Disuelto (Al) %, Arsénico Disuelto (As) %, Boro Disuelto (B) %, Bario Disuelto (Ba) %, Calcio Disuelto (Ca) %, Cobalto Disuelto (Co) %, Cobre Disuelto (Cu) %, Hierro Disuelto (Fe) %, Potasio Disuelto (K) %, Litio Disuelto (Li) %, Magnesio Disuelto (Mg) %, Manganeso Disuelto (Mn) %, Molibdeno Disuelto (Mo) %, Sodio Disuelto (Na) %, Níquel Disuelto (Ni) %, Fósforo Disuelto (P) %, Plomo Disuelto (Pb) %, Antimonio Disuelto (Sb) %, Selenio Disuelto (Se) %, Estroncio Disuelto (Sr) %, Titanio Disuelto (Ti) %, Uranio Disuelto (U) %, Zinc Disuelto (Zn) %) and multiple rows of data for months June, July, and September 2019.

N.D. : No determinado, valores por debajo del límite de detección.
[Blue box] : Porcentaje de la forma disuelta del metal mayor al 50% del total.
[Orange box] : Porcentaje de la forma disuelta del metal menor al 50% del total.



De acuerdo con la Tabla 7.2, los metales con predominancia en su forma disuelta fueron boro, bario, calcio, litio, magnesio, molibdeno, sodio, antimonio, estroncio y uranio en todos los puntos de muestreo y en los 3 meses de monitoreo (junio, julio y setiembre de 2019).

El aluminio se presentó mayormente en forma disuelta en el punto de muestreo RPat-3 en junio y setiembre de 2019. El arsénico en su forma disuelta predominó en los puntos de muestreo QCar-1 y RPat-3 en junio de 2019, en los puntos de muestreo RPat-3 y EFLU-1A en julio de 2019 y en los puntos de muestreo RPat-1, QCar-1, RPat-3 en setiembre de 2019.

El hierro predominó en su forma suspendida en todos los puntos de muestreo, a excepción del punto de muestreo QCar-1 en junio de 2019 y RPat-3 en setiembre de 2019. El plomo y titanio también predominaron en su forma suspendida.

7.1.2.3 Análisis multivariado

De acuerdo con los resultados obtenidos, para el análisis de parámetros fisicoquímicos seleccionados se obtuvo un valor de test de KMO de 0,751 (regular) con una varianza de 80,43 % (Tabla 7.3)

Tabla 7.3. Test de KMO y explicación de la varianza

Factor	Eigenvalues			
	Extraction: Principal factors (comm= multiple R-square)			
	Test: Kaiser-Meyer-Olkin (KMP): 0,751			
	Eigenvalue	% Total	Cumulative	Cumulative
Factor 1	12,99339	61,87329	12,99339	61,87329
Factor 2	3,89723	18,55822	16,89062	80,43152

Con respecto a las cargas (*loadings*) (Tablas 7.4), los siguientes parámetros asociados a un factor registraron valores absolutos mayores a 0,7:

Factor 1: parámetros: conductividad eléctrica, STS, cloruros, fluoruros, sulfatos, boro, calcio, litio, magnesio, estroncio y sodio.

Factor 2: bicarbonato, aluminio, cobalto, hierro, níquel, plomo, zinc.

Tabla 7.4. Carga (*loadings*) de factores para parámetros fisicoquímicos

Variable	Factor Loadings (Varimax raw)	
	Extraction: Principal factors (comm.= multiple R-square)	
	(Marked loadings are >,700000)	
	Factor 1	Factor 2
Conductividad Eléctrica (CE)	0,837033	0,169118
Bicarbonato	0,54692	0,708445
Sólidos Totales Disueltos	0,797649	0,430425
Cloruros, Cl ⁻	0,920218	0,222827
Fluoruros, F ⁻	0,747832	0,202621
Nitratos, NO ₃ ⁻	0,65514	0,328697
Sulfatos, SO ₄ ⁻²	0,911148	0,296447
Aluminio (Al)	0,07972	0,883755
Boro (B)	0,903218	0,249814
Calcio (Ca)	0,961409	0,172906
Cobalto (Co)	0,37695	0,897753
Hierro (Fe)	0,45451	0,831680
Litio (Li)	0,891277	0,267882
Magnesio (Mg)	0,951131	0,219319
Manganeso (Mn)	0,47536	0,651918
Níquel (Ni)	0,20815	0,887342
Plomo (Pb)	0,03011	0,855037
Estroncio (Sr)	0,931463	0,272739
Zinc (Zn)	0,00261	0,890824



«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad»

Variable	Factor Loadings (Varimax raw) Extraction: Principal factors (comm.= multiple R-square) (Marked loadings are >,700000)	
	Factor 1	Factor 2
Arsénico (As)	0,49418	0,537921
Sodio (Na)	0,874130	-0,234232

0,874130 : Parámetros con correlación mayor al 70 %.

En relación con las puntuaciones (scores) de los puntos de muestreo se muestran en la Tabla 7.5.

Tabla 7.5. Puntuaciones (scores) estandarizadas de factores considerando

Punto de muestreo	Factor Scores (Spreadsheet42) Rotation: Varimax raw Extraction: Principal factors (comm = multiple R-square)	
	Factor 1	Factor 2
RPat-11_Jun	-0,42639	0,43395
RPat-10_Jun	-0,25226	0,71582
RPat-1_Jun	-0,38820	0,53985
RPat-2_Jun	-0,35984	0,50313
QCar-1_Jun	-2,57104	-1,04458
RPat-3_Jun	-0,27750	-1,49215
RPat-4_Jun	-0,09246	0,51459
RPat-18_Jun	-0,46610	1,33184
RPat-11_Jul	0,74416	-0,11235
RPat-10_Jul	0,54470	1,10937
RPat-1_Jul	0,71010	-0,15115
RPat-2_Jul	1,10430	0,05389
QCar-1_Jul	-2,43993	-0,85654
RPat-3_Jul	-0,20925	-1,60447
RPat-4_Jul	0,73602	0,45525
RPat-18_Jul	0,44405	0,30356
RPat-11_Set	0,80732	-0,17170
RPat-10_Set	0,68589	-0,00152
RPat-1_Set	1,09068	-1,72051
RPat-2_Set	0,94210	-0,32096
QCar-1_Set	-1,93400	-1,08185
RPat-3_Set	-0,21934	-1,65179
RPat-4_Set	0,83823	-0,22369
RPat-18_Set	0,48418	-0,20112
EFLU-1A_Jun	-1,20467	2,21746
EFLU-1B_Jun	-0,95130	1,98232

Los puntos de muestreo RPat-11, RPat-10 y RPat-1 ubicados en la zona de control (zona I) del tramo evaluado del río Pativilca antes de la captación de C.H. Cahua mostraron una mejor correlación con el factor 1, con una predominancia de metales en su forma disuelta. Se aprecia además un incremento en las concentraciones de metales totales a nivel temporal y una mayor concentración de los STS en el mes de julio de 2019 (Figura 7.6 y Figura 7.7).

El punto de muestreo RPat-2 en la zona de caudal reducido (zona II) mostró una mejor correlación con el factor 1 con metales predominantes en su forma disuelta muy próximo a los puntos de la zona de control. Sin embargo, el punto de muestreo RPat-3 más próximo a la zona de descarga tuvo una propia agrupación sin cambios significativos en los 3 meses evaluados.

La Quebrada Carhuan (QCar-1) registró características fisicoquímicas diferentes a los demás puntos evaluados, con una buena correlación con el factor 2 cuyos resultados obtenidos en los 3 meses evaluados no mostraron cambios significativos y cuyos metales aluminio, cobalto, hierro, níquel, plomo y zinc tienen predominancia en su forma suspendida.



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

SSIM: Subdirección de Sitios
Impactados

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad»

De las correlaciones se resalta también que las aguas turbinadas (EFLU-1A, EFLU-1B) con mejor correlación del factor 2 y predominancia de los metales en su forma disuelta marca un incremento a nivel temporal.



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA

SSIM: Subdirección de Sitios Impactados

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad»

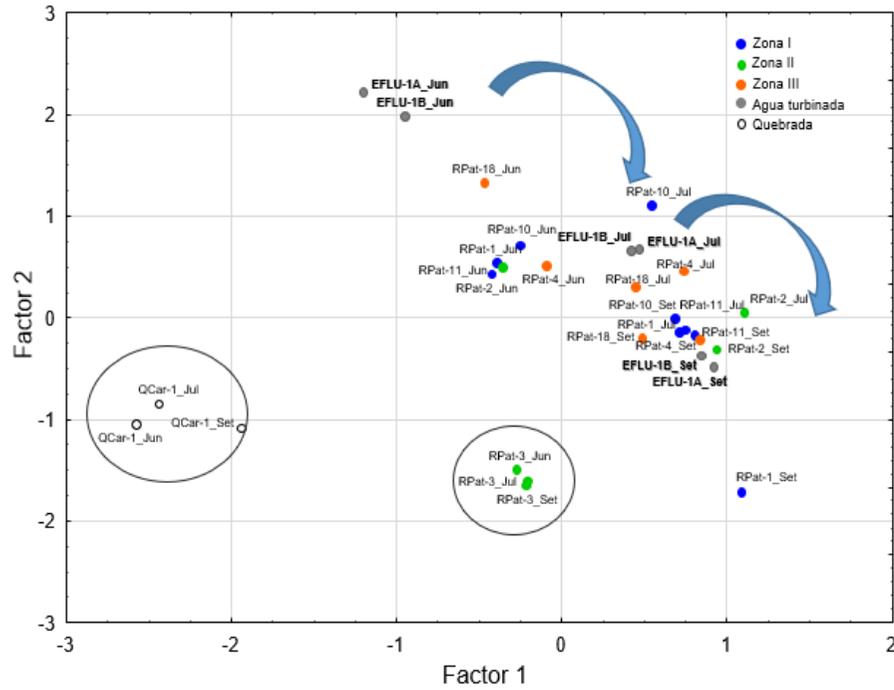


Figura 7.6. Diagrama de las puntuaciones de los factores 1 y 2 del muestreo de junio, julio y setiembre 2019.

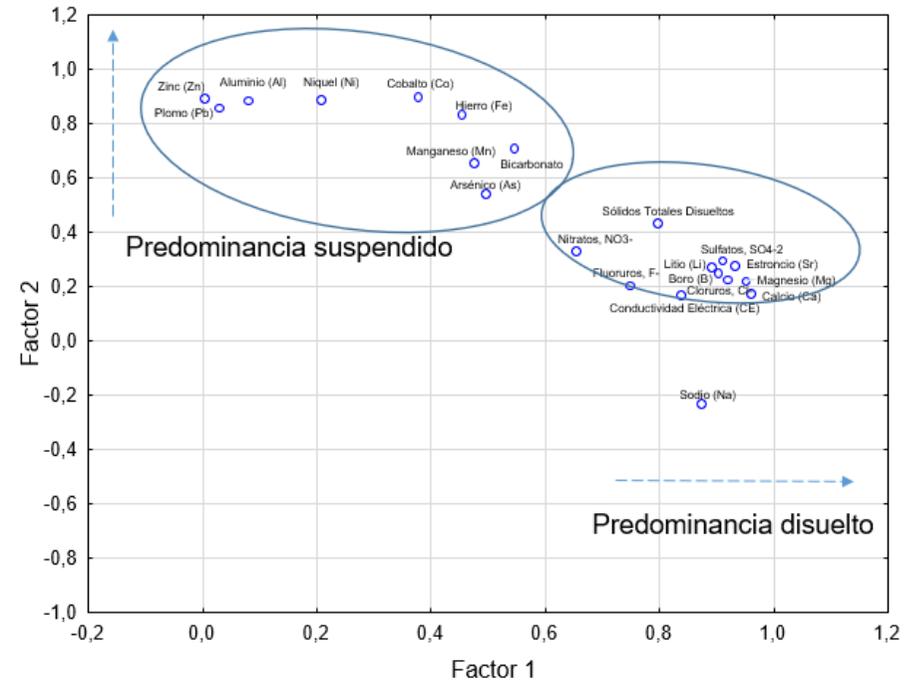


Figura 7.7. Diagrama de las cargas de los factores 1 y 2 del muestreo de junio, julio y setiembre 2019.



7.1.2.4 Diagrama de cajas y bigotes

Para complementar el análisis de variación temporal de parámetros de calidad de agua superficial se graficó diagramas de cajas y bigotes de algunos parámetros, considerando la totalidad de puntos por zonas en los 3 meses evaluados.

Como se puede apreciar en las figuras el rango de variación del parámetro pH (Figura 7.8) de la zona I (control) y zona III (influencia) tiene mayor similitud respecto a la media y rango de variación de la zona II (caudal reducido). Asimismo, se aprecia una mayor variación de rangos de variación de máximos y mínimos valores para la zona II. La misma tendencia se da para los parámetros conductividad, temperatura, bicarbonatos, nitratos, DQO, STS, STD, potasio, cloruros, arsénico y DQO.

Para el caso de fósforo total el rango de variación, máximos y mínimos se incrementa conforme el agua circula (Figura 7.10). Otro comportamiento resaltante se da en el caso del hierro con rango de concentraciones mayor en la zona I y similar en la zona II y zona III (Figura 7.11).

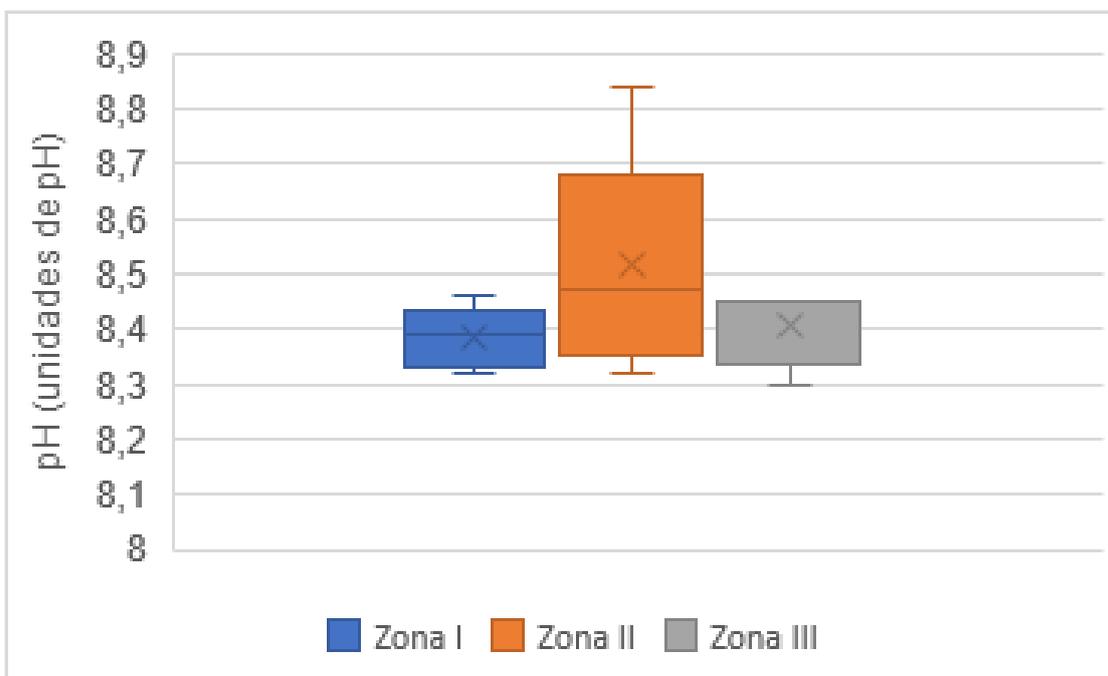


Figura 7.8. Diagrama de cajas y bigotes para potencial de hidrógeno (pH) por zonas

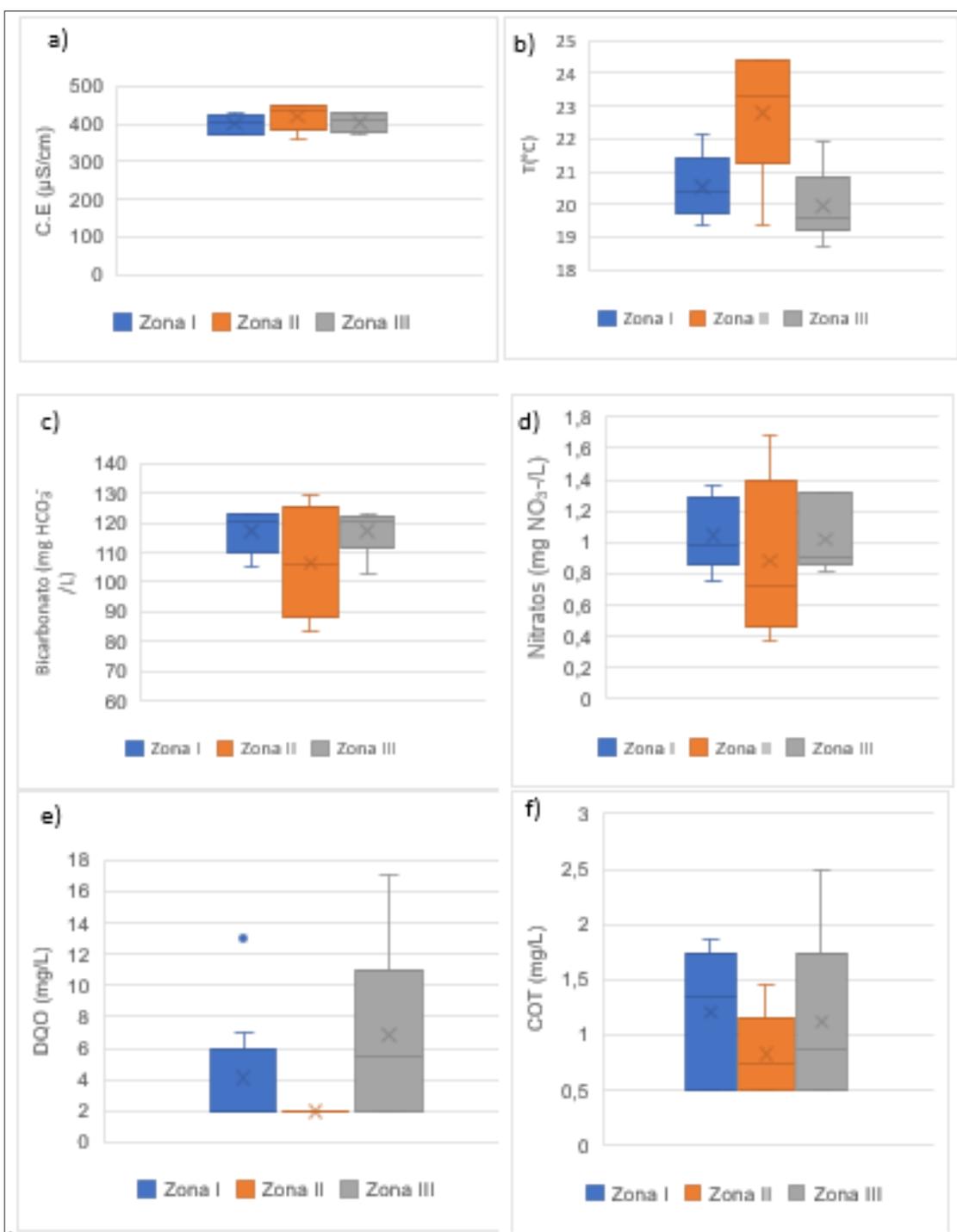


Figura 7.9. Diagrama de cajas y bigotes para variación de a) C.E., b) temperatura, c) bicarbonato, d) nitratos, e) DQO y f) carbono orgánico total por zonas

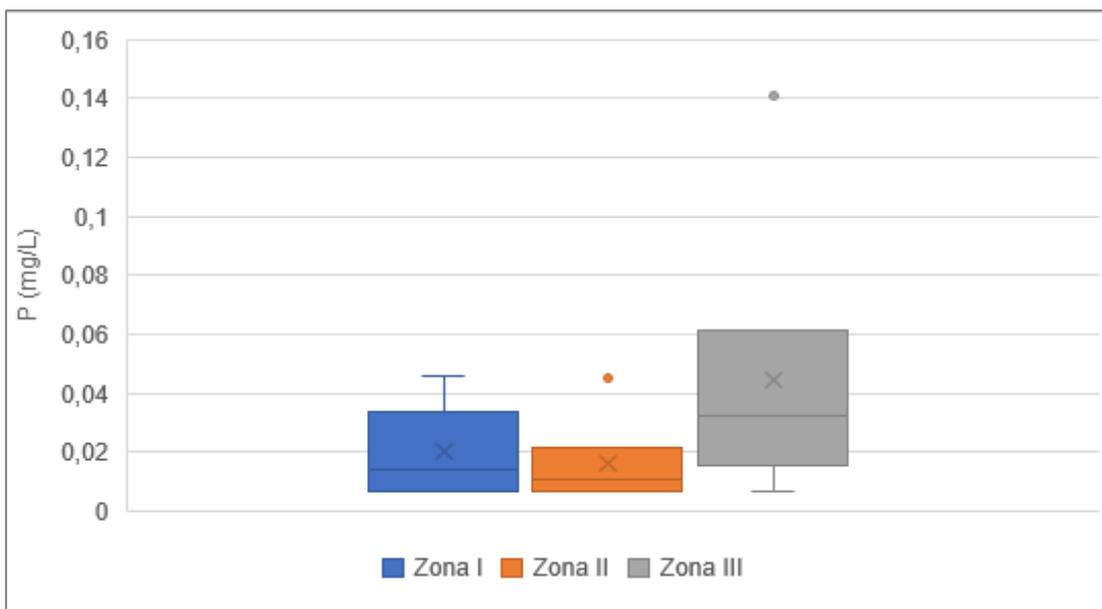


Figura 7.10. Diagrama de cajas y bigotes para variación de fósforo total por zonas

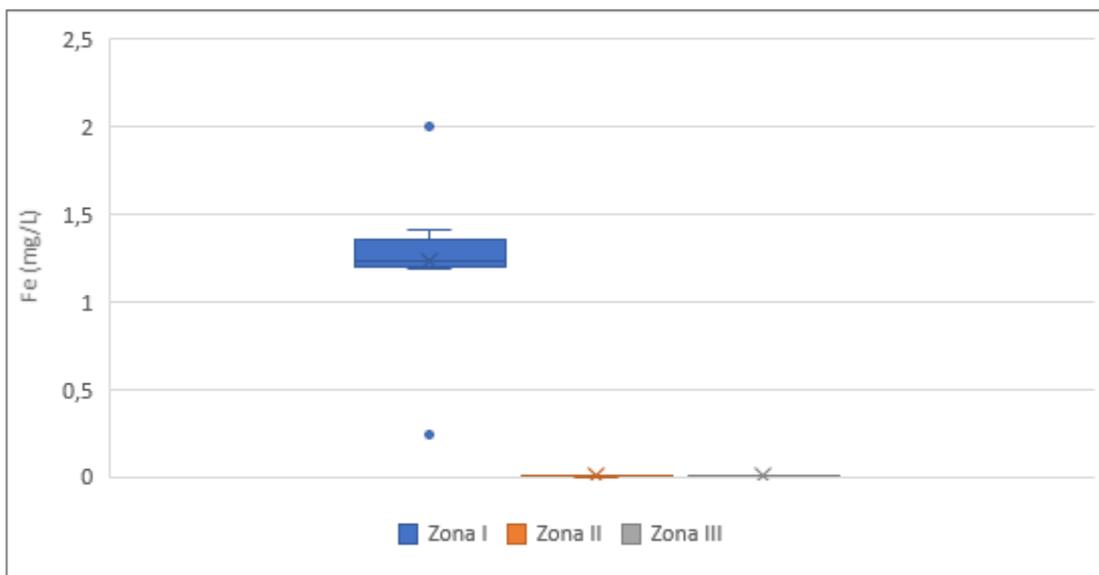


Figura 7.11. Diagrama de cajas y bigotes para variación de hierro total por zonas

7.2 Sedimento

En los anexos 5, 6 y 7 (reportes de resultados 0339-2019-SSIM; 0413-2019-SSIM; 0441-2019-SSIM) se encuentran todos los resultados de los parámetros evaluados en los sedimentos colectados (metales, granulometría y materia orgánica) en el río Pativilca y quebrada Carhuan.

7.2.1 Comparación con norma referencial

Se presenta los resultados comparados con los valores de la guía canadiense para sedimentos de aguas continentales *Canadian Environment Quality Guidelines-CEQG* (en adelante, guía canadiense). En los Anexos 5, 6 y 7 (reportes de resultados 0339-2019-SSIM; 413-2019-SSIM; 0441-2019-SSIM) se encuentra el detalle de los resultados para



todos los parámetros evaluados en el sedimento del río Pativilca y quebrada Carhuan, durante el 2019.

En la Tabla 7.6 se presentan los resultados de sedimentos obtenidos en los puntos de muestreo evaluados en los meses de junio, julio y setiembre de 2019; comparados referencialmente con los valores de la guía canadiense (ISQG y PEL).

Tabla 7.6. Resultados de calidad de sedimentos

Código		Parámetros						
		Arsénico	Cadmio	Cromo	Cobre	Plomo	Zinc	Mercurio
		(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
RPat-11	junio	93,3	< 1,0	7,6	17,2	24	86,7	< 0,10
	julio	74,1	< 1,0	8	22,1	15	84,1	< 0,10
	setiembre	69,7	< 1,0	8,1	15,7	18,5	74,2	< 0,10
RPat-10	junio	56,3	< 1,0	6,8	15,3	22	71,2	< 0,10
	julio	99,3	< 1,0	8,6	20,2	27	94,8	< 0,10
	setiembre	75,5	2,1	7,6	23	23,7	118,3	< 0,10
RPat-1	junio	99,9	< 1,0	6,2	19,4	27	65,3	< 0,10
	julio	57,9	< 1,0	8,3	17,1	17	87,1	< 0,10
	setiembre	81,3	2,4	9,7	31,3	23,8	138,9	< 0,10
RPat-2	junio	30,1	< 1,0	5,7	8,4	10	52,1	< 0,10
	julio	36,4	< 1,0	7,7	14,1	10	62,8	< 0,10
	setiembre	24,3	< 1,0	7,6	12,3	13,1	66,6	< 0,10
QCar-1	junio	17,5	< 1,0	6,2	26,7	10	38,6	< 0,10
	julio	17,5	< 1,0	5,7	19,7	10	33	< 0,10
	setiembre	17,8	< 1,0	6,9	31,8	9,1	44,3	< 0,10
RPat-3	junio	20,4	< 1,0	5,3	7,2	10	46,3	< 0,10
	julio	53,2	< 1,0	7,4	14,4	15	81,2	< 0,10
	setiembre	98,8	4,4	10	41,2	61,2	377,6	< 0,10
RPat-4	junio	45,7	< 1,0	6,2	9,2	10	47,2	< 0,10
	julio	51,1	< 1,0	7,9	15	17	66,7	< 0,10
	setiembre	88,6	2,1	9,2	27,2	27,3	123	< 0,10
RPat-18	junio	17,5	< 1,0	7,2	8,1	10	55,8	0,14
	julio	86,5	< 1,0	8,3	19,8	23	69,3	< 0,10
ISQG ^(a)		5,9	0,6	37,3	35,7	35	123	0,17
PEL ^(b)		17	3,5	90	197	91,3	315	0,486

Supera el valor ISQG
 Supera el valor ISQG y PEL

(a) ISQG (*Interim Sediment Quality Guideline*): Concentración por debajo de la cual no se debe presentar efecto biológico adverso sobre los macroinvertebrados bentónicos.
 (b) PEL (*Probable Effect Level*): Concentración sobre la cual se encuentran efectos biológicos adversos con frecuencia, sobre los macroinvertebrados bentónicos.

7.2.2 Evaluación granulométrica y contenido de materia orgánica

Del análisis granulométrico de sedimentos de textura arenosa muestreados en los meses de junio y julio de 2019 se puede observar de acuerdo con la Figura 7.12 y Figura 7.13 que presentan una granulometría uniforme pobremente gradada, los sedimentos de la zona de control o zona I (RPat-11, RPat-10 y RPat-1) registraron predominancia de arenas medias a finas a diferencia de los sedimentos de las zonas de caudal reducido (RPat-2 y RPat-3) y zona de influencia (RPat-4 y RPat-18) que registraron predominancia de arenas gruesas a medias en junio y en julio de 2019 con predominancia de arenas gruesas.

En setiembre de 2019 (Figura 7.14) se registró mayor presencia de sedimentos finos (limos y arcillas) en todos los puntos de muestreo, principalmente en los puntos RPat-10, RPat-1 de la zona de control y en el punto de muestreo RPat-4 de la zona de influencia. El punto de muestreo RPat-2 de la zona de caudal reducido registró predominancia de arenas gruesas.



«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad»

La quebrada QCar-1 registró sedimentos con textura arenosa, pero con predominancia de arenas medias conservando esta característica durante los 3 meses evaluados.

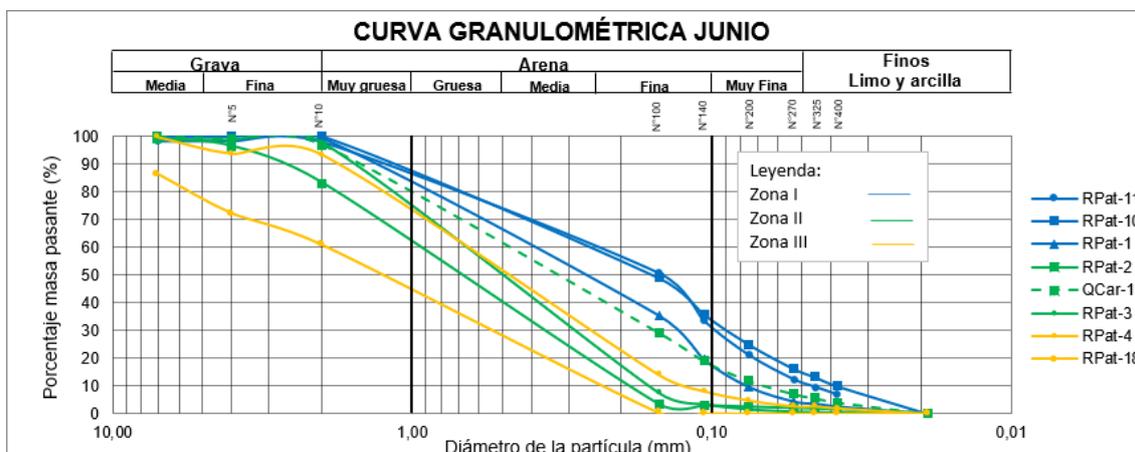


Figura 7.12. Distribución granulométrica de los sedimentos evaluados – junio 2019

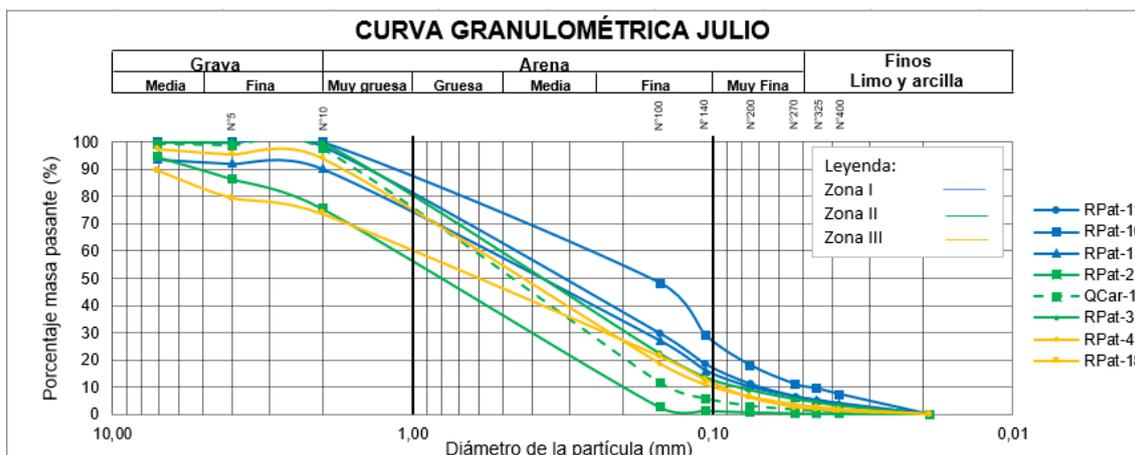


Figura 7.13. Distribución granulométrica de los sedimentos evaluados – julio 2019

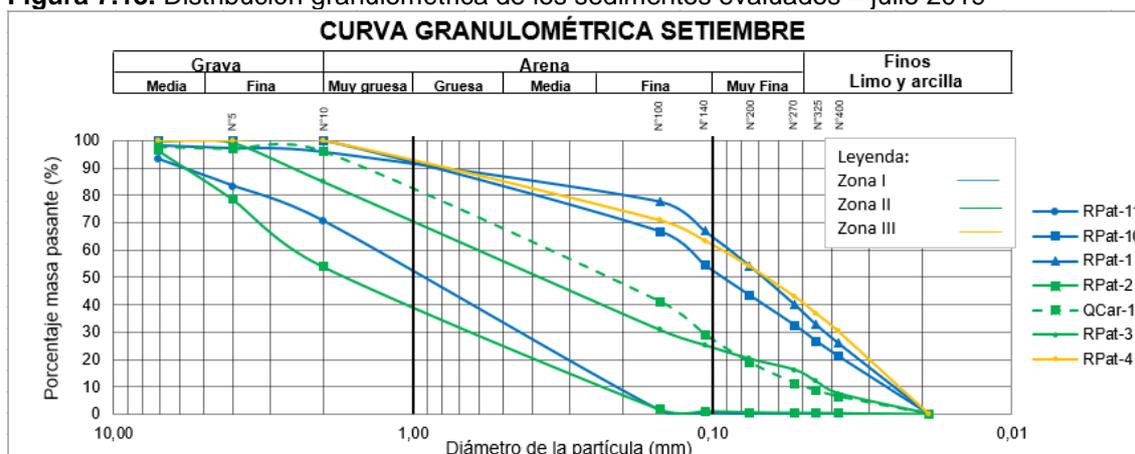


Figura 7.14. Distribución granulométrica de los sedimentos evaluados – setiembre 2019

Respecto a la presencia de materia orgánica en los sedimentos se registró un porcentaje significativo en los puntos de muestreo RPat-10 y RPat-3 (en julio de 2019) y RPat-4 (en setiembre de 2019), siendo este último el que registró el mayor porcentaje de materia orgánica (2,7 %).

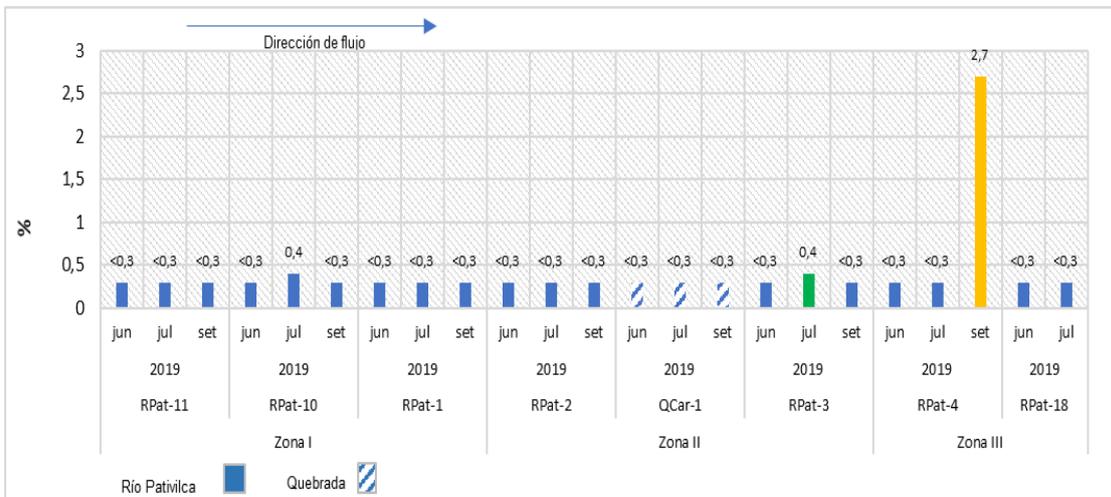


Figura 7.15. Presencia de materia orgánica en los sedimentos evaluados en junio, julio y setiembre 2019

7.2.3 Análisis multivariado

De acuerdo con los resultados obtenidos para las quebradas, para el análisis de parámetros fisicoquímicos seleccionados se obtuvo un valor de test de KMO de 0,757 (regular) con una varianza de 82,77 % (Tabla 7.7)

Con respecto a las cargas (*loadings*) (Tablas 7.8 y 7.9) los siguientes parámetros asociados a un factor registraron valores absolutos mayores a 0,7:

Factor 1: aluminio, calcio, cobalto, cromo, cobre, hierro, plomo, zinc, fosforo silicio y estroncio

Factor 2: bario, potasio, magnesio, manganeso, sodio, vanadio, titanio.

Tabla 7.7. Test de KMO y explicación de la varianza evaluados con metales

Factor	Eigenvalues Extraction: Principal factors (comm=multiple R-square) Test: Kaiser-Meyer-Olkin (KMO): 0,757			
	Eigenvalue	% Total	Cumulative	Cumulative
Factor 1	10,16452	56,46958	10,16452	56,46958
Factor 2	4,73535	26,30749	14,89987	82,77707

Tabla 7.8. Cargas (*loadings*) factores para metales

Variable	Factor Loadings (Varimax raw) Extraction: Principal factors (comm=multiple R-square) (Marked loadings are >,700000)	
	Factor 1	Factor 2
Aluminio (Al)	0,773042	0,583455
Bario (Ba)	0,271503	0,741142
Calcio (Ca)	0,839808	0,150192
Cobalto (Co)	0,961327	0,160485
Cromo (Cr)	0,828188	-0,078967
Cobre (Cu)	0,709742	0,553470
Hierro (Fe)	0,923058	-0,095197
Potasio (K)	0,025138	0,974477
Magnesio (Mg)	0,277968	0,812680



«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad»

Variable	Factor Loadings (Varimax raw) Extraction: Principal factors (comm=multiple R-square) (Marked loadings are >,700000)	
	Factor 1	Factor 2
Manganeso (Mn)	0,518721	0,722570
Sodio (Na)	0,091521	0,939352
Plomo (Pb)	0,915946	-0,102965
Vanadio (V)	0,167338	0,899515
Zinc (Zn)	0,967083	0,025481
Fósforo (P)	0,736677	0,560529
Silicio (Si) *	0,788903	0,255396
Estroncio (Sr) *	0,833472	0,333702
Titanio (Ti) *	-0,415080	0,884612

: Parámetros con correlaciones mayores a 0,7

En relación con las puntuaciones (scores) estandarizados de los puntos de muestreo (Tabla 7.16), junto con las cargas de los parámetros estandarizados para cada factor se visualizaron con el diagrama biplot para los metales.

Tabla 7.9. Puntuaciones (scores) de factores considerado los metales

Punto de muestreo	Factor Scores (Base de datos_Cahua-sed) Rotation: Varimax raw Extraction: Principal factors (comm=multiple R-square)	
	Factor 1	Factor 2
RPat-11_Jun	0,15978	-0,87422
RPat-10_Jun	-0,03301	-0,92939
RPat-1_Jun	-0,55365	-1,08007
RPat-2_Jun	-0,71092	-0,44113
QCar-1_Jun	-0,63103	2,47290
RPat-3_Jun	-0,99203	-0,33383
RPat-4_Jun	-0,93999	-0,89768
RPat-18_Jun	-0,48809	-0,41088
RPat-11_Jul	0,15747	-0,60829
RPat-10_Jul	0,21420	-0,52887
RPat-1_Jul	0,26335	-0,07560
RPat-2_Jul	-0,16380	-0,33095
QCar-1_Jul	-1,08917	1,45762
RPat-3_Jul	-0,15282	-0,47286
RPat-4_Jul	-0,10951	-0,25993
RPat-18_Jul	-0,00567	0,03963
RPat-11_Set	0,13488	-0,15527
RPat-10_Set	0,23746	-0,09644
RPat-1_Set	0,98981	0,17251
RPat-2_Set	-0,57712	0,05509
QCar-1_Set	-0,64591	2,88588
RPat-3_Set	3,79057	0,82401
RPat-4_Set	1,14522	-0,41224

: Parámetros con correlación mayor a 1

Como se puede apreciar en la Figura 7.16. los sedimentos en su mayoría de textura arenosa se agrupan entre el factor 1 y factor 2; sin embargo, para setiembre de 2019 de textura franco-arenosa con presencia significativa de sedimento fino; dichos sedimentos incrementaron las concentraciones de los metales asociados al factor 2 como: bario, potasio, magnesio, manganeso, sodio, vanadio y titanio. Asimismo, el punto de muestreo



RPat-3 obtuvo mayor concentración de metales asociado a su tipo de textura (franco-arcillo-limoso).

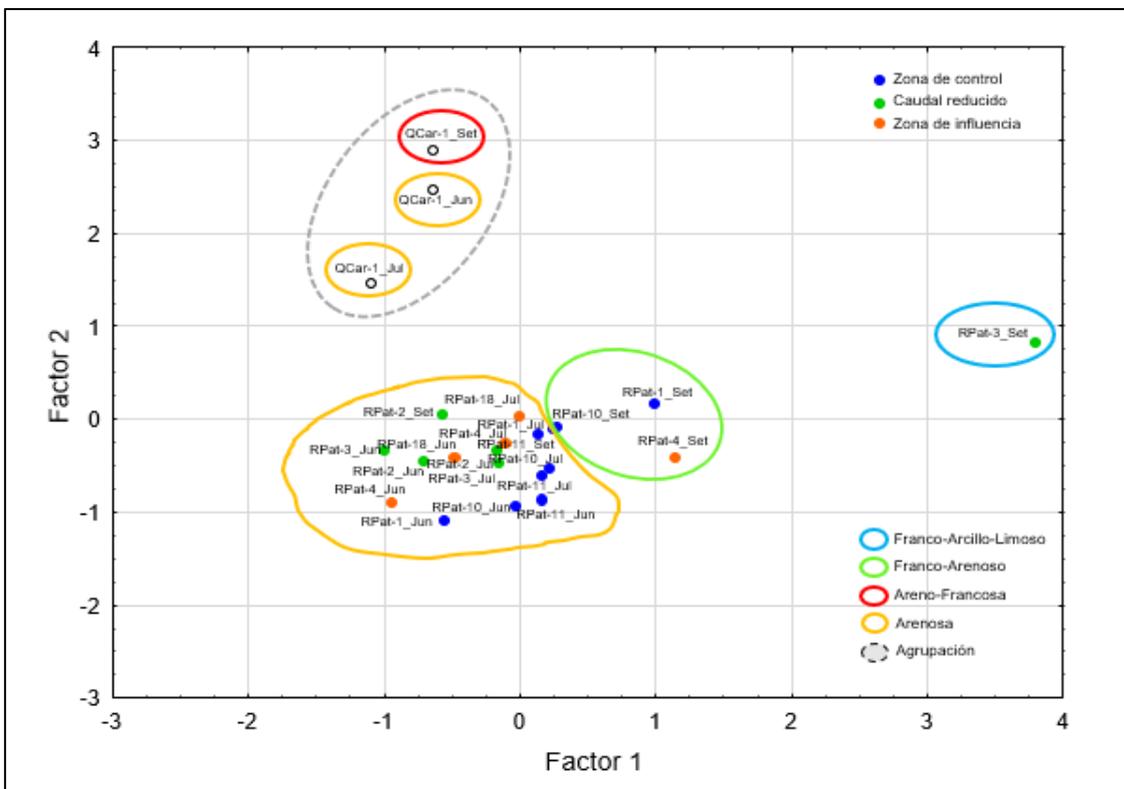


Figura 7.16. Diagrama de los factores 1 y 2 del muestreo en junio, julio y setiembre de 2019 en el río Pativilca en el tramo de influencia de la C.H. Cahua

Por otro lado, la quebrada Carhuan (QCar-1) se agrupó de forma independiente a los sedimentos del río Pativilca, con mayor correlación con el factor 2.

7.2.4 Diagrama de cajas y bigotes

En la Figura 7.17 se presenta los diagramas de cajas y bigotes para metales en sedimento, el rango de variación de los parámetros-arsénico, calcio, hierro, aluminio, cromo y plomo fue mayor en la zona I (control) en los meses evaluados (junio, julio y setiembre de 2019) a excepción del calcio que registró mayores concentraciones en la zona II.

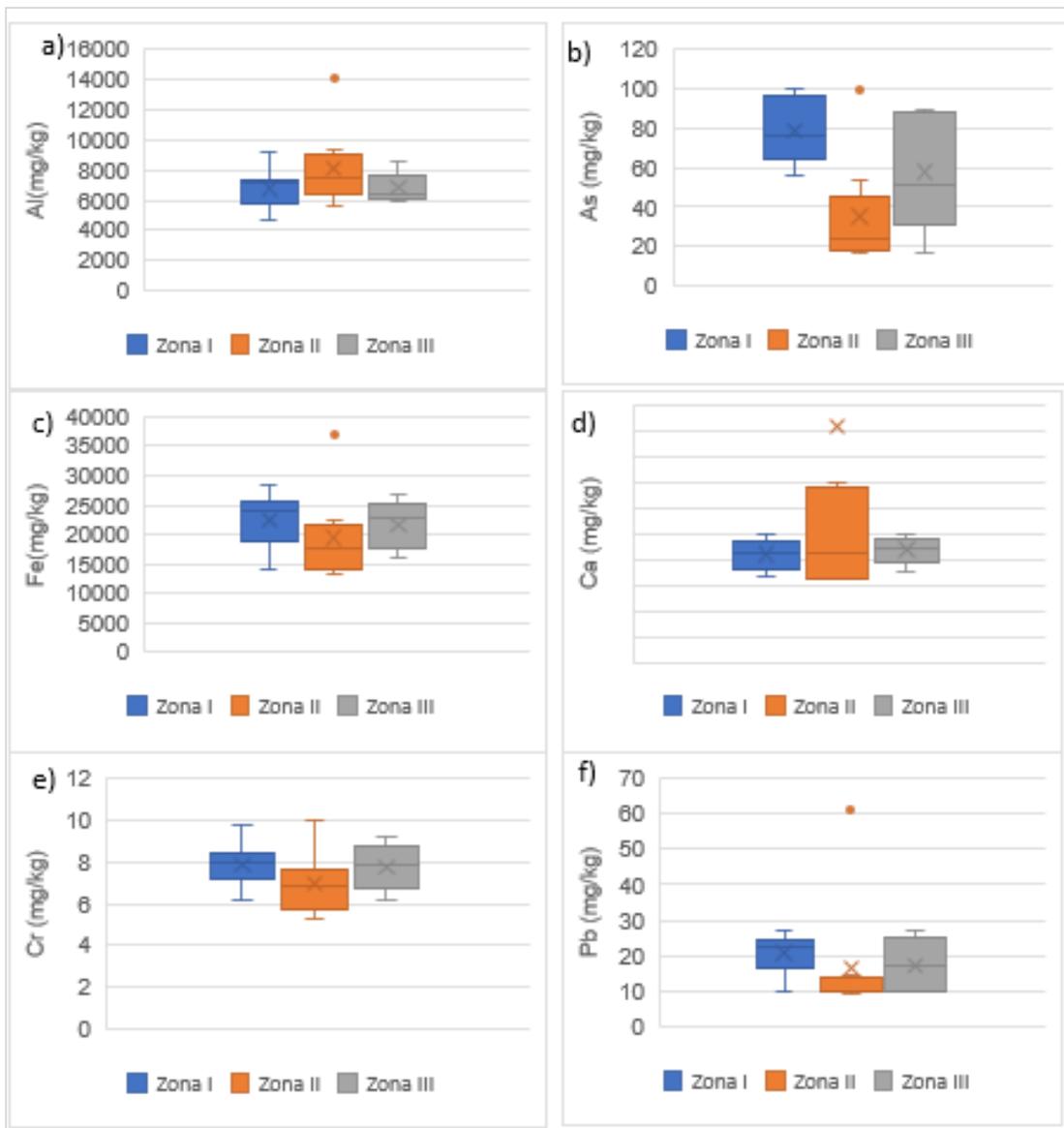


Figura 7.17. Diagrama de cajas y bigotes de concentración metales en sedimentos: a) aluminio, b) arsénico, c) hierro, d) calcio, e) cromo y f) plomo

7.3 Comunidades hidrobiológicas

Los resultados de comunidades hidrobiológicas se exponen mediante representaciones gráficas, de aquellos parámetros que han presenten cierto patrón en su comportamiento. En los Anexos 10 y 13 se encuentra el detalle de la totalidad de resultados identificados de perifiton y macroinvertebrados bentónicos; asimismo, en el Anexo 14 se encuentra la lista de colecta de camarones y peces capturados durante los meses de muestreo de perifiton y macroinvertebrados (junio, julio y setiembre de 2019) y adicionalmente una colecta realizada en el mes de octubre de 2019.

7.3.1 Condiciones de preferencia

La Tabla 7.10 muestra los resultados de la valoración de las posibles presiones externas en cada zona de evaluación (I, II, III y la quebrada Carhuan). La quebrada es la estación



que tuvo el mayor valor de condición, superando el valor requerido de una estación de referencia (Figura 7.18) según el CERA (Acosta, 2009). Las zonas I, II y III estuvieron por debajo de ese valor, compartiendo la alteración hidrológica como una presión externa común. Otra característica que compartieron fue la presencia de construcciones cercanas, en este caso la carretera que recorría las 3 zonas de evaluación, la poca cobertura de árboles o arbustos fue otra característica encontrada en común en las zonas I, II y III.

Tabla 7.10. Valoración para las características usadas en la definición de estaciones de referencia en el CERA

Características	Zona I	Zona II	Zona III	Quebrada
Cuenca				
Cobertura de especies introducidas	5	5	5	5
Porcentaje de cobertura en pastos artificiales	5	5	5	5
Porcentaje de cobertura en usos urbanos	5	5	3	5
Ausencia de vegetación autóctona				
Explotaciones mineras	5	5	5	5
Explotaciones ganaderas intensivas	5	5	5	5
hidrología				
Presencia de grandes presas aguas arriba del lugar	1	1	1	1
Derivaciones de agua para hidroeléctricas	5	1	5	5
Trasvases a otras cuencas o desde otras cuencas	5	5	5	5
Derivaciones para usos en agricultura y ganadería	5	5	3	5
Derivaciones para usos en minería	5	5	5	5
Derivaciones para uso urbano (usos domésticos e industriales)	5	5	5	5
Tramo (incluye ribera y zona de inundación)				
Canalización del río por infraestructuras rígidas (escolleras, etc.)	1	1	1	5
Canalización del río por terraplenes	1	1	1	5
Presencia de cultivos y pasto en la llanura de inundación	5	3	1	5
Infraestructuras laterales (carreteras, construcciones)	3	3	3	5
Falta de cubierta de la zona de ribera (árboles o arbustos)	1	1	1	3
%Cubierta vegetal por especies introducidas (árboles o arbustos)	3	3	3	3
Lecho				
Sustrato del lecho totalmente artificial (cemento, escollera, etc.)	5	5	5	5
Infraestructuras transversales (azudes, vados, etc.)	5	5	5	5
Presencia de efluentes directos al río	5	5	5	5
Contaminación orgánica evidente	5	5	5	5
Contaminación minera evidente	5	5	5	5
Presencia de basuras y escombros (sea en la ribera o en el mismo lecho)	3	3	3	3
TOTAL	93	87	85	105

Fuente: Acosta, 2009.

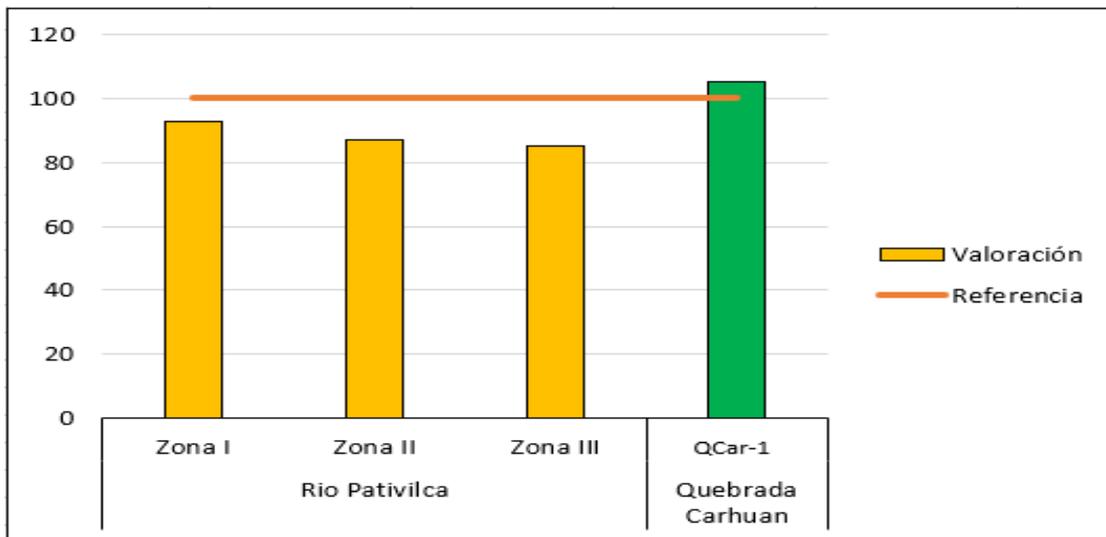


Figura 7.18. Gráfico de barras para los puntajes en la valoración de estaciones de referencias del CERA (Acosta, 2009)

7.3.2 Perifiton

De los resultados de perifiton solo se analizó el fitoperifiton por ser el más representativo en la matriz, el zooperifiton presentó abundancias muy escasas.

El perifiton estuvo mayormente conformada por especies del Phylum Bacillarophyta (Figura 7.19), seguido por cyanobacterias y chlorophytas. Finalmente, la presencia de especies de Charophyta y Miozoa fue casi nula, estando solo presentes en la zona III en junio de 2109. La zona II en julio y setiembre de 2019 mostraron un mayor porcentaje de especies del Phylum Cholophyta, mientras que estuvo ausente en la quebrada Carhuan (estación Qcar-1) de los meses de junio y setiembre. Las cyanobacterias tuvieron una mayor representación en la quebrada Carhuan en setiembre, seguida por julio.

La Tabla 7.11 muestra la cantidad de especies por zona.

Tabla 7.11. Cantidad de especies por Phylum para cada zona y temporada

PHYLLUM	Junio 2019				Julio 2019				Setiembre 2019			
	Zonal	Zonall	Zonalll	Quebrada	Zonal	Zonall	Zonalll	Quebrada	Zonal	Zonall	Zonalll	Quebrada
Bacillarophyta	43	55	42	22	45	38	33	13	38	41	37	7
Cyanobacteria	7	3	0	3	3	6	3	3	5	8	2	5
Chlorophyta	1	1	1	0	1	8	2	1	2	9	1	0
Charophyta	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Miozoa	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Anexo 10, informes de identificación taxonómica.

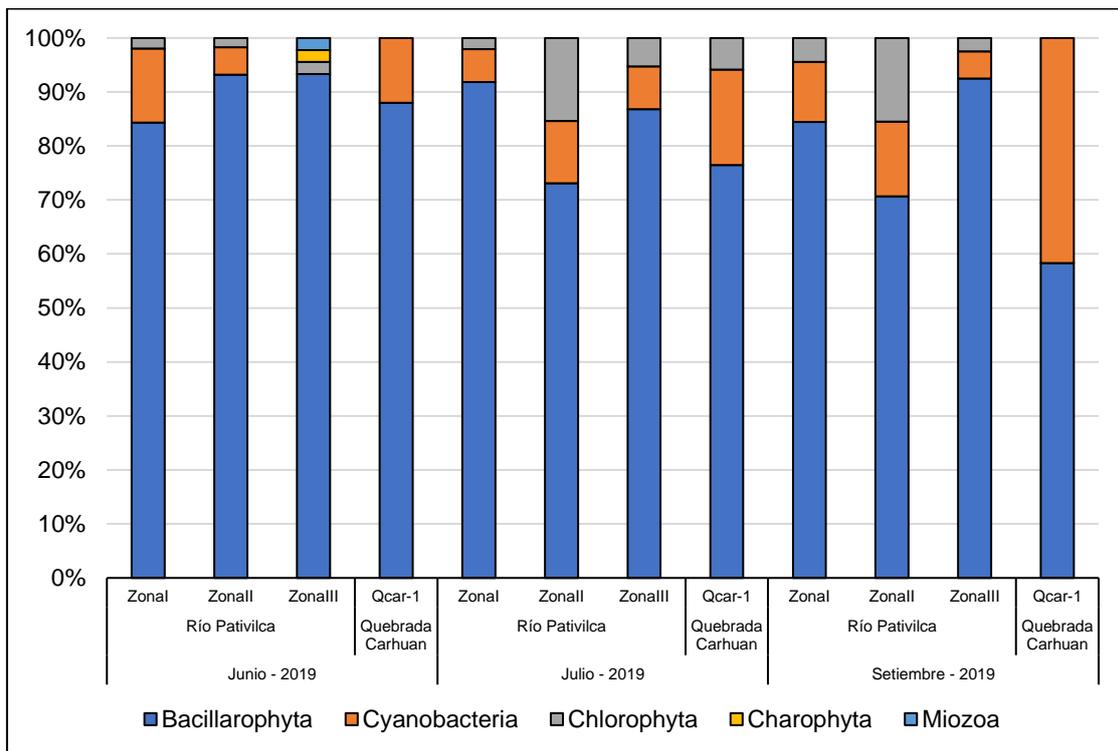


Figura 7.19. Composición porcentual de especies de perifiton por zonas y temporadas

7.3.2.1 Diversidad alfa

A. Curva de acumulación de especies

Los parámetros de la función de Clench para estimar la riqueza de las zonas por temporadas se encuentra en la Tabla 7.12. En el caso de la quebrada Carhuan (estación Qcar-1), no se pudo obtener los parámetros ya que sólo tuvo una muestra.

Las curvas de acumulación de especies (figuras 7.20, 7.21, 7.22) mostraron una mayor riqueza para la zona II en junio, julio y setiembre de 2019. En el mes de junio, la riqueza de la zona II estuvo muy próxima a la zona I, mientras que la zona III se encontró con menor riqueza. La quebrada Carhuan en junio mostró una riqueza de 27, sin embargo, no se pudo realizar una curva de acumulación debido a solo tener una réplica, por lo que no fue posible comparar su riqueza con las otras zonas, sólo se colocó de forma referencial. En julio, la zona I se aproximó al valor de riqueza de la zona III, la situación de la quebrada Carhuan en julio es similar a lo ocurrido en junio. En setiembre, las curvas tuvieron la misma tendencia que en julio.

Tabla 7.12. Parámetros de la función de Clench y riqueza estimada de la comunidad de perifiton por zonas y temporadas

Temporada	Zonas	Función de Clench		Riqueza estimada
		a	b	
Junio 2019	Zona I	21,90	0,30	74,24
	Zona II	34,36	0,46	74,75
	Zona III	39,58	0,63	62,34
Julio 2019	Zona I	17,63	0,26	69,11
	Zona II	25,71	0,34	75,56
	Zona III	22,08	0,29	75,54
Setiembre 2019	Zona I	17,53	0,27	65,42
	Zona II	21,59	0,24	90,85
	Zona III	27,74	0,36	78,06

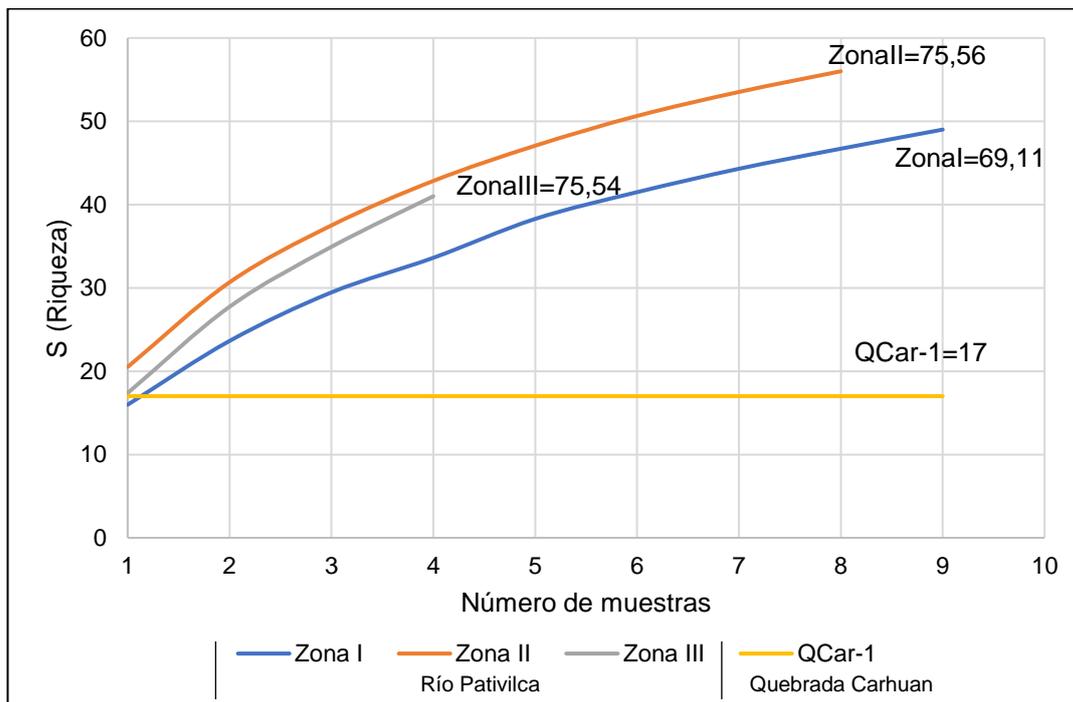


Figura 7.20. Curva de acumulación de especies para perifiton – junio 2019

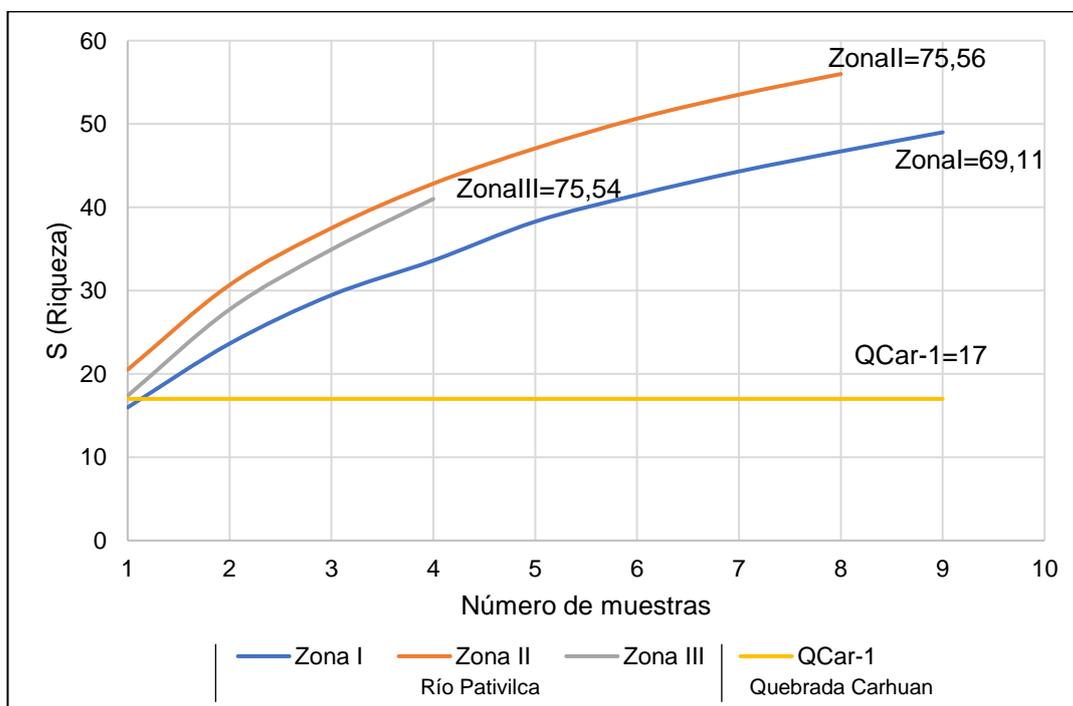


Figura 7.21. Curva de acumulación de especies para perifiton – julio 2019

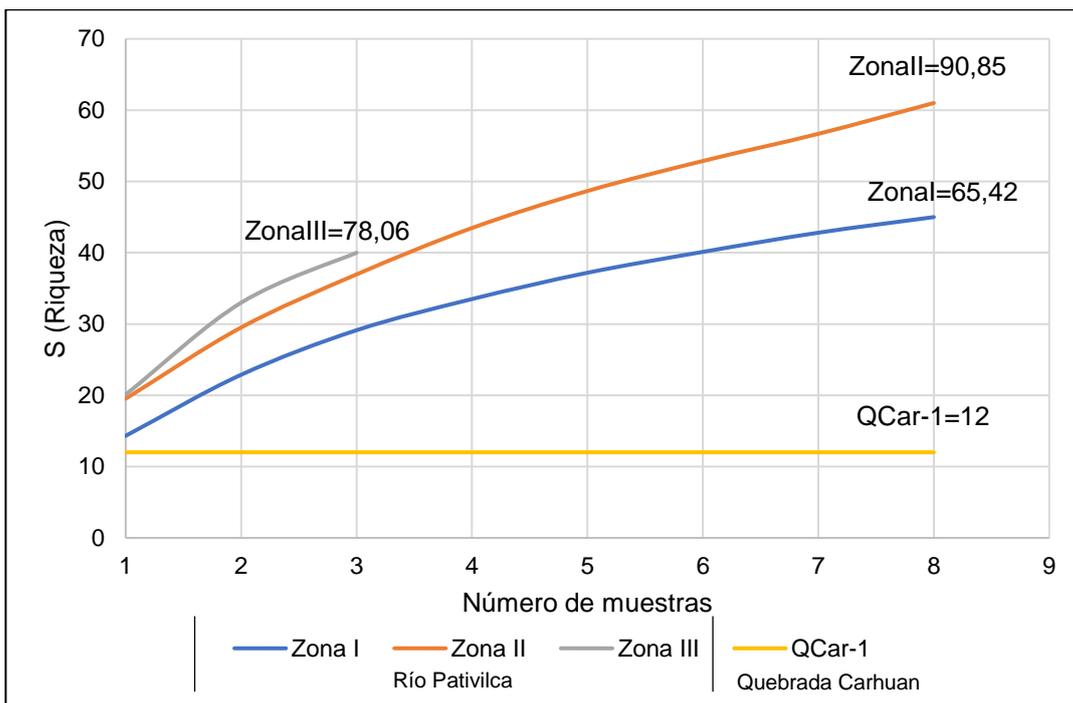


Figura 7.22. Curva de acumulación de especies para perifiton – setiembre 2019

B. Índices de diversidad

a. Índice de Shannon – Wiener (H')

Los registros para el índice de Shannon – Wiener (H') se encuentran en la Tabla 7.13. En junio de 2019, la zona II presentó una mediana y media de H' ligeramente superior a la zona III, sin embargo, esta fue muy superior en comparación con la zona I. La quebrada (estación Qcar-1) se ubicó muy cercana a un H' de 3,000 nits/individuo, un valor muy próximo a la mediana de la zona II.

El gráfico de cajas por zonas para el mes de junio de 2019 se encuentra en la Figura 7.23.

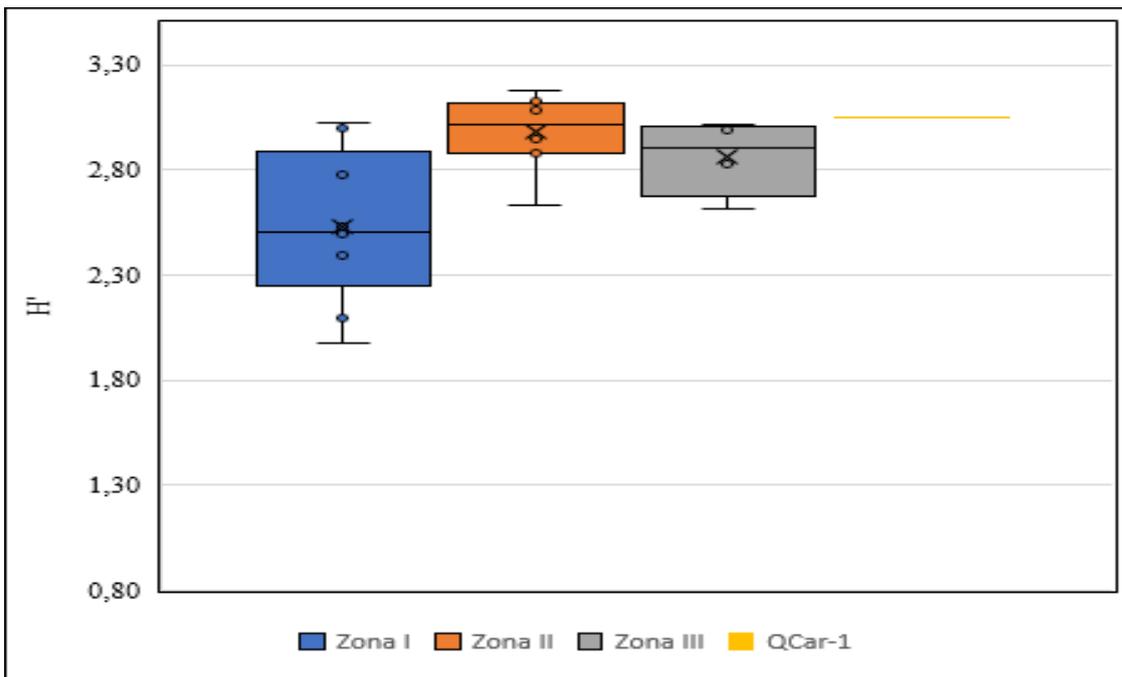


Figura 7.23. Gráfico de cajas del índice de Shannon - Wiener (H') para la comunidad de perifiton – junio 2019

En julio de 2019, la media y mediana de la zona II fue ligeramente superior a la zona III y zona I (Figura 7.24). A diferencia de junio 2019, las cajas para las zonas I, II y III mostraron un valor menor de H' asociado al percentil 25. La quebrada Carhuan (estación Qcar-1) mostró un valor muy cercano (2,167 nits/individuo) a la mediana de la zona I.

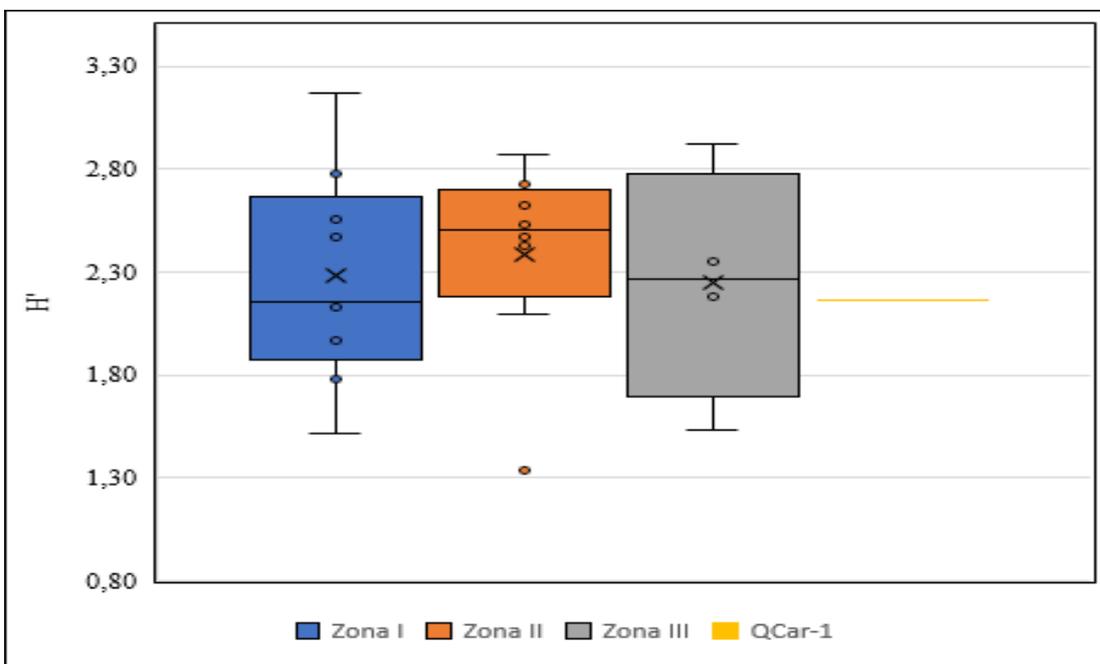


Figura 7.24. Gráfico de cajas del índice de Shannon - Wiener (H') para la comunidad de perifiton – julio 2019

El comportamiento de los gráficos de cajas fue diferente en setiembre de 2019 (Figura 7.25). Aquí, la zona III presentó un valor de media y mediana superior a las zonas I y II. Con excepción de la estación RPat-24, con un valor de H' atípico de 0,930 nits/individuo,



los registros restantes de las zonas I y II fueron similares. La quebrada Carhuan (estación QCar-1) tuvo un registro de $H' = 2,374$ nits/individuo, inferior a las medias y medianas de la zona I, II y III.

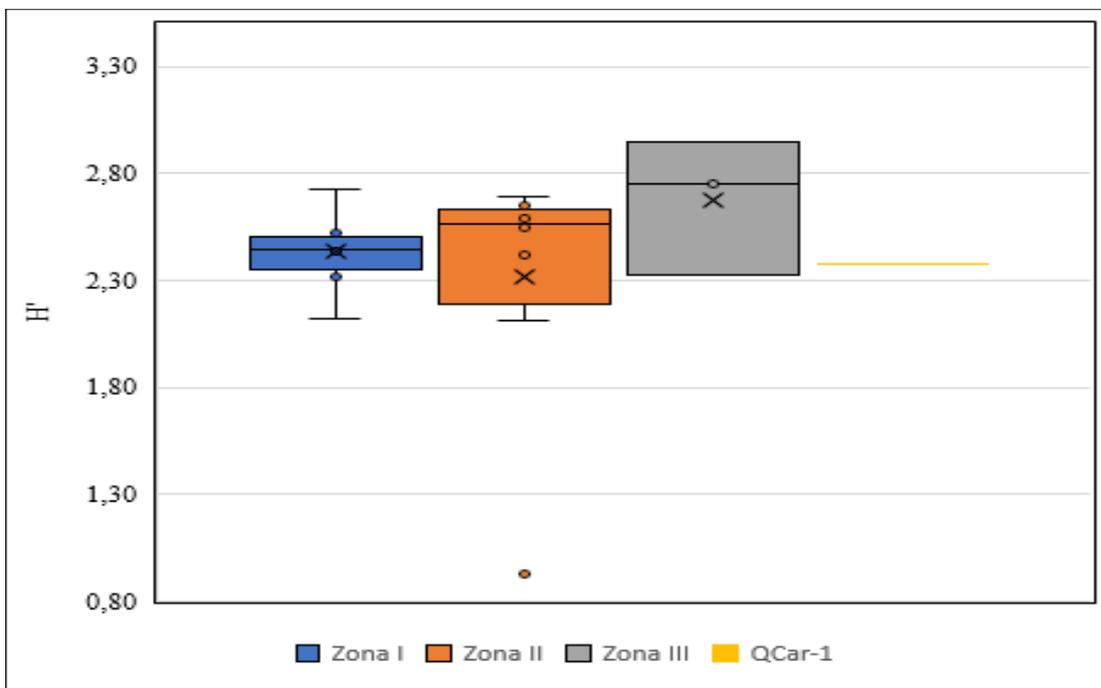


Figura 7.25. Gráfico de cajas del índice de Shannon - Wiener (H') para la comunidad de perifiton – setiembre 2019

Tabla 7.13. Registros del índice de Shannon – Wiener (H') para la comunidad de perifiton

Zonas	Estaciones	Junio 2019	Julio 2019	Setiembre 2019
Zona I	RPat-15	2,776	3,167	2,523
	RPat-14	2,098	1,779	2,317
	RPat-13	2,497	2,126	2,44
	RPat-12	2,533	2,153	2,442
	RPat-11	2,391	2,552	2,117
	RPat-16	3,02	1,516	SR
	RPat-10	2,995	2,78	2,437
	RPat-17	1,979	2,47	2,725
Zona II	RPat-1	2,503	1,968	2,455
	RPat-2	2,635	2,424	2,691
	RPat-19	2,889	2,727	2,416
	RPat-20	3,086	2,094	2,588
	RPat-23	3,083	1,334	2,645
	RPat-24	3,181	2,47	0,9299
	RPat-21	2,878	2,869	2,59
	RPat-3	2,945	2,533	2,544
Zona III	RPat-22	3,127	2,624	2,111
	RPat-4	2,989	1,536	2,944
	RPat-25	3,014	2,918	2,325
	RPat-26	2,829	2,349	SR
Quebrada	Qcar-1	2,619	2,182	2,75
		3,051	2,167	2,374

SR: Sin registro.

b. Equidad de Pielou (J')

La Tabla 7.14 muestra los registros de Equidad de Pielou de cada estación, ordenado por zonas y temporadas. Para el mes de junio de 2019, la zona II mostró una mayor equidad, con un valor de media y mediana superior a la zona I, la cual tuvo registros con menos equidad. Por otro lado, la zona III mostró valores de media y mediana muy próximos a la zona II. La quebrada Carhuan (estación QCar-1) mostró un valor de 0,926 unidades, muy cercano al valor medio de la zona II. El gráfico de cajas para J' se encuentra en la Figura 7.26.

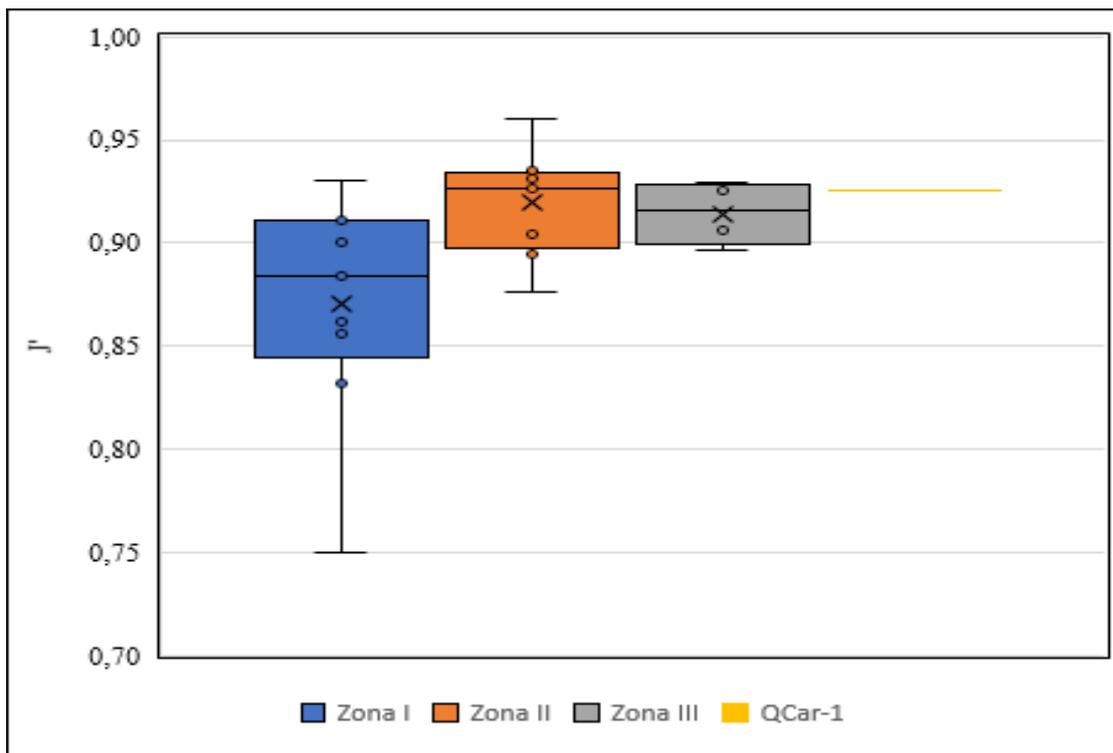


Figura 7.26. Gráfico de cajas de la Equidad de Pielou (J') para la comunidad de perifiton – junio de 2019

En julio de 2019, ocurrió un panorama diferente a lo observado en junio de 2019. La zona I mostró tener percentiles con valores superiores de J', comparado con la zona I y III. La presencia de valores atípicos con un J' por debajo de 0,700 unidades se encontró en la zona I y zona II. La quebrada presentó un valor de 0,765 unidades, un registró inferior a las medias y medianas de las zonas I, II y III. El gráfico de cajas para la Equidad de Pielou del mes de julio se encuentra en la Figura 7.27.

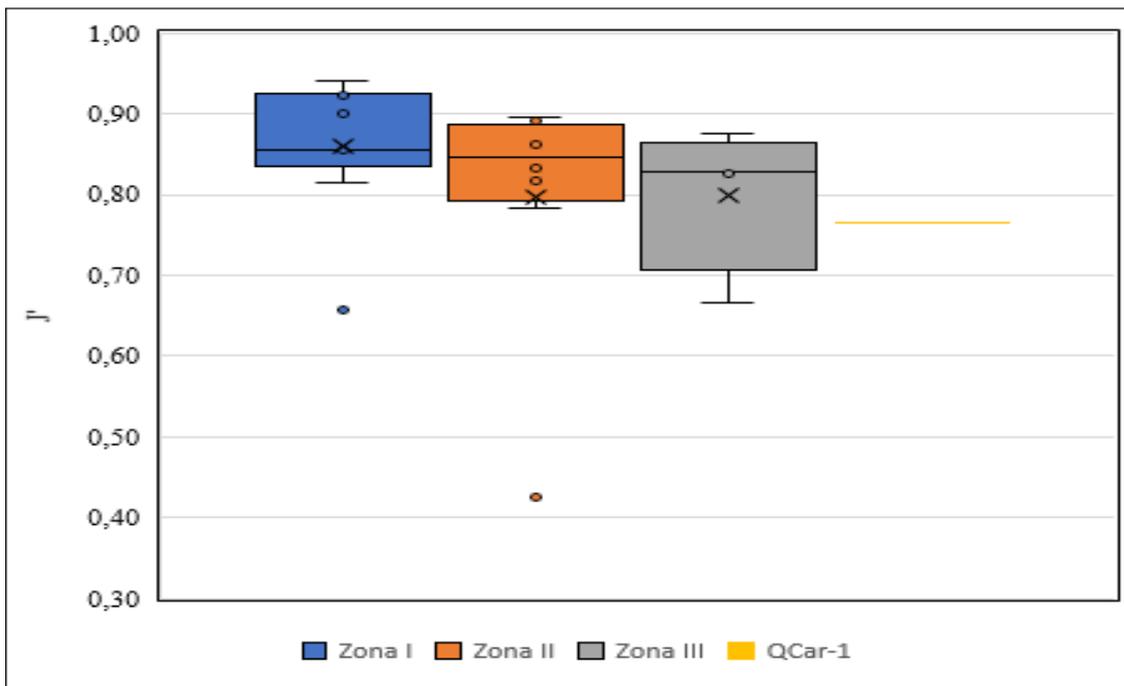


Figura 7.27. Gráfico de cajas de la Equidad de Pielou (J') para la comunidad de perifiton – julio 2019

En setiembre de 2019, los registros del 50 % de la zona II estuvieron por debajo de 0,837 unidades, encontrándose el registro más bajo con un valor de 0,316 unidades. En este mes, los registros más altos fueron para la quebrada (QCar-1), seguido por la zona III. El gráfico de cajas de la Equidad de Pielou para el mes de setiembre se encuentra en la Figura 7.28.

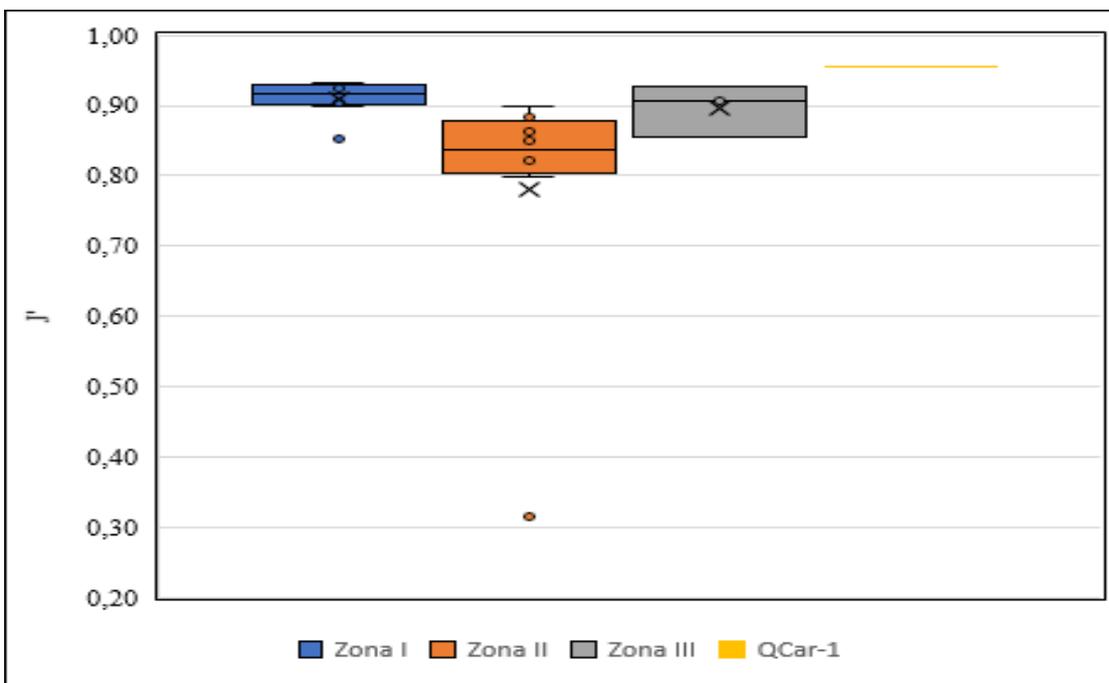


Figura 7.28. Gráfico de cajas de la Equidad de Pielou (J') para la comunidad de perifiton - setiembre 2019



Tabla 7.14. Registros del índice de la equidad de Pielou para la comunidad de perifiton

Zonas	Estaciones	Junio 2019	Julio 2019	Setiembre 2019
Zona I	RPat-15	0,912	0,940	0,932
	RPat-14	0,911	0,855	0,903
	RPat-13	0,901	0,923	0,925
	RPat-12	0,832	0,816	0,925
	RPat-11	0,862	0,901	0,852
	RPat-16	0,857	0,658	SR
	RPat-10	0,931	0,928	0,900
	RPat-17	0,750	0,855	0,910
Zona II	RPat-1	0,884	0,855	0,930
	RPat-2	0,895	0,784	0,898
	RPat-19	0,877	0,896	0,821
	RPat-20	0,926	0,816	0,864
	RPat-23	0,935	0,425	0,883
	RPat-24	0,926	0,891	0,316
	RPat-21	0,931	0,871	0,851
	RPat-3	0,904	0,832	0,823
Zona III	RPat-22	0,960	0,862	0,800
	RPat-4	0,897	0,667	0,926
	RPat-25	0,925	0,876	0,906
	RPat-26	0,929	0,829	SR
Quebrada	RPat-18	0,906	0,827	0,854
	Qcar-1	0,926	0,765	0,955

SR: Sin Registro

c. Abundancia (N)

Los registros de abundancias de cada estación, ordenados por zonas y temporadas se encuentra en la Tabla 7.15.

En setiembre de 2019 la mayor productividad fue encontrada en la zona II, seguida por la zona III y finalmente la zona I (Figura 7.29). La quebrada Carhuan (Qcar-1) mostró una abundancia de 4065 organismos/cm².

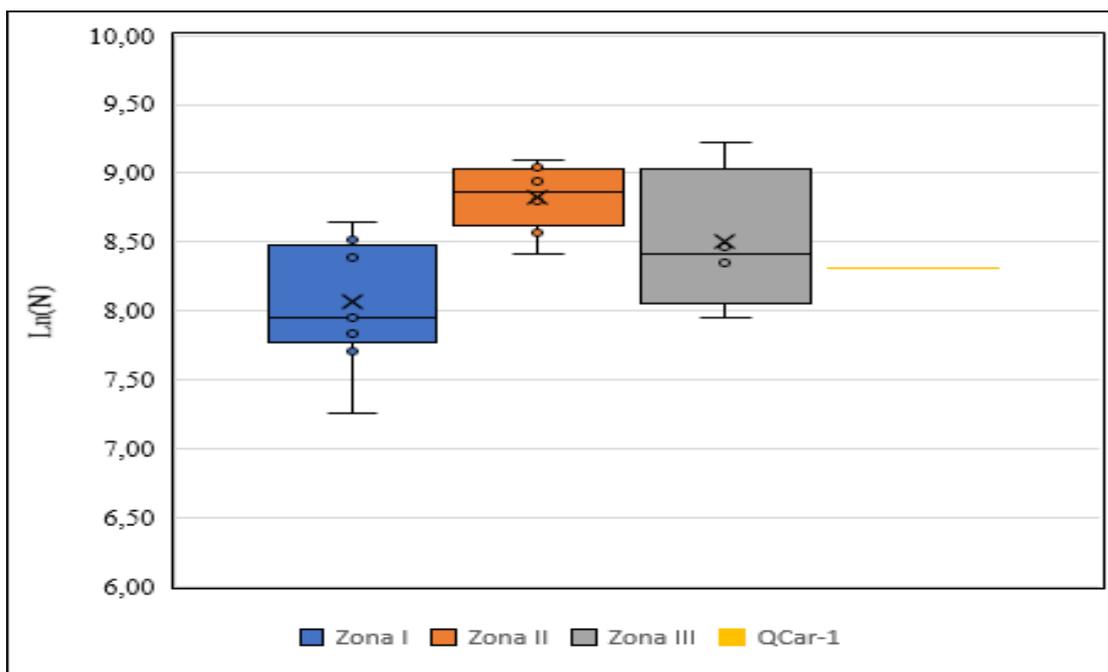


Figura 7.29. Gráfico de cajas del logaritmo natural de la abundancia (Ln(N)) para la comunidad de perifiton – junio 2019



En julio de 2019 se encontró un patrón similar a junio de 2019. La zona II presentó una mayor productividad en comparación con la zona III, seguida por la zona I. La quebrada presentó una productividad de 1896 individuos/cm², un valor muy cercano a la mediana de la zona III, sin embargo, inferior al encontrado en la zona II (Figura 7.30).

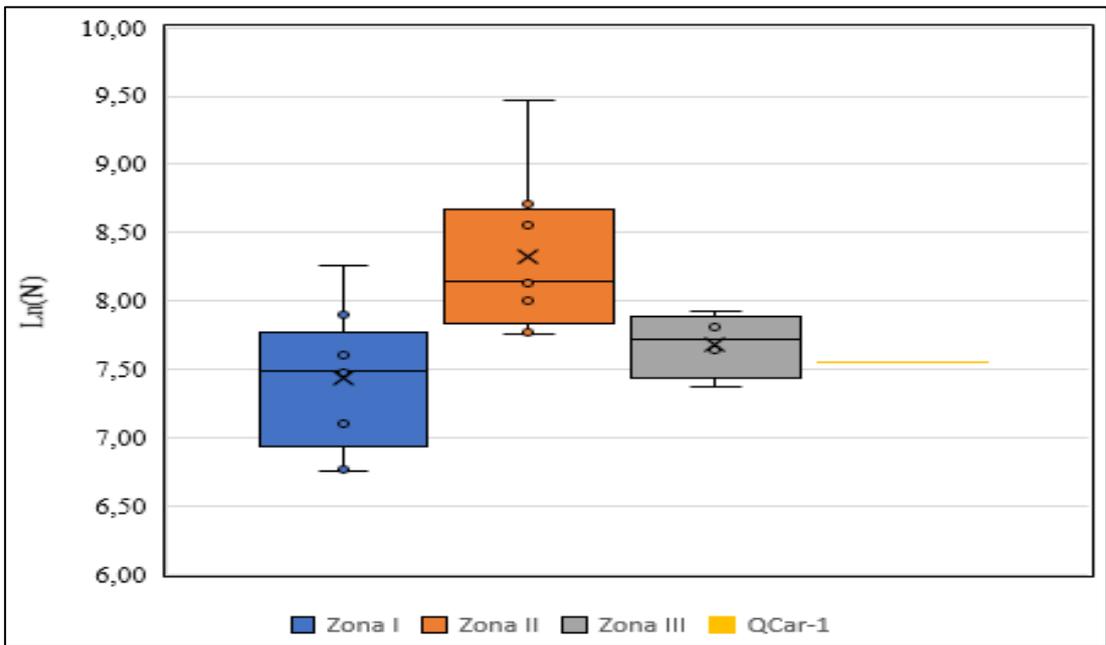


Figura 7.30. Gráfico de cajas del logaritmo natural de la abundancia (Ln(N)) para la comunidad de perifiton – julio 2019

En setiembre de 2019 la productividad fue mayor en la zona II, en comparación con la zona I. Por otro lado, la zona III tuvo valores similares a la zona II. La quebrada (QCar-1) no tuvo mucha productividad en comparación con las zonas I, II y III, con una abundancia de 699 individuos/cm², presentó el registro más bajo de las estaciones para este mes. Este patrón de mayor productividad de la zona II, en comparación con las otras zonas fue encontrado de manera similar en junio y julio de 2019 (Figura 7.31).

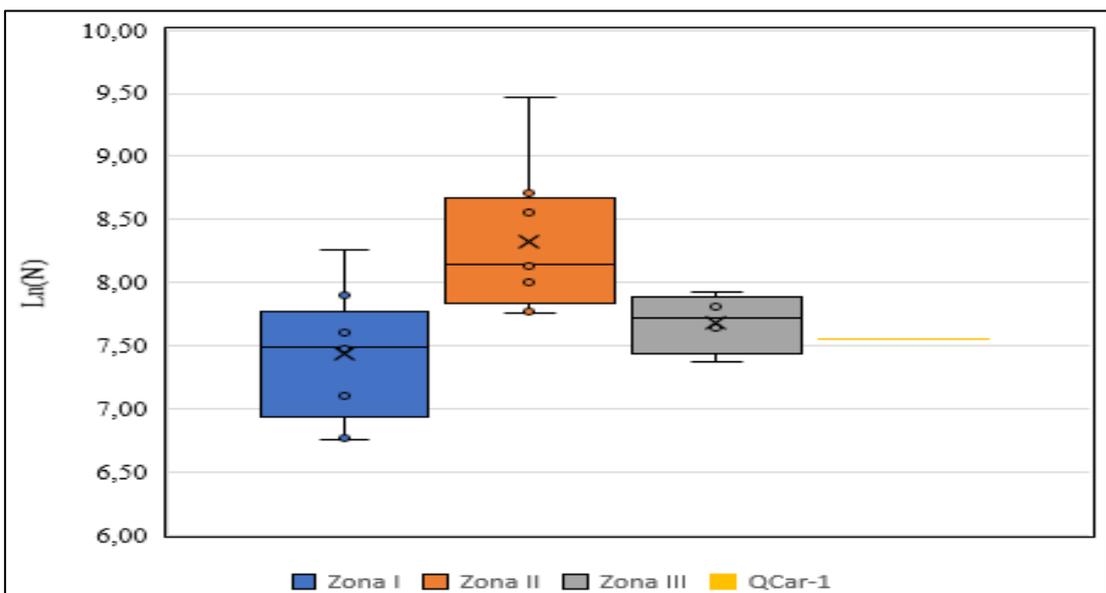


Figura 7.31. Gráfico de cajas del logaritmo natural de la abundancia (Ln(N)) para la comunidad de perifiton - setiembre 2019

**Tabla 7.15.** Registros de la abundancia para la comunidad de perifiton

Zonas	Estaciones	Junio 2019	Julio 2019	Setiembre 2019
Zona I	RPat-15	4390	3844	2134
	RPat-14	1424	1222	1400
	RPat-13	2849	857	1069
	RPat-12	5030	2012	1499
	RPat-11	2680	1757	1236
	RPat-16	5654	1793	SR
	RPat-10	4577	2064	1166
	RPat-17	2212	2710	2276
	RPat-1	2546	873	1600
Zona II	RPat-2	5235	3380	3766
	RPat-19	4529	3008	2006
	RPat-20	6602	2383	2884
	RPat-23	7601	12991	1731
	RPat-24	8933	2340	11606
	RPat-21	6634	5209	3499
	RPat-3	8500	6032	4274
	RPat-22	7966	3539	2867
Zona III	RPat-4	10146	1596	2270
	RPat-25	4777	2757	1327
	RPat-26	4258	2093	SR
	RPat-18	2846	2452	4308
Quebrada	Qcar-1	4065	1896	699

SR: Sin Registro

7.3.2.2 Análisis multivariado

a. Escalamiento multidimensional no métrico (NMDS)

El NMDS para el mes de junio de 2019 mostró una separación de las estaciones ubicadas en la zona II de las restantes, con excepción de la estación RPat-19, que se ubica más cerca de la estación RPat-10 (zona I) (Figura 7.32). Por otro lado, las zonas I y II mostraron tener estaciones en común, no reflejando una diferencia muy marcada entre estas zonas. La quebrada mostró similitud con la estación RPat-12 (zona I).

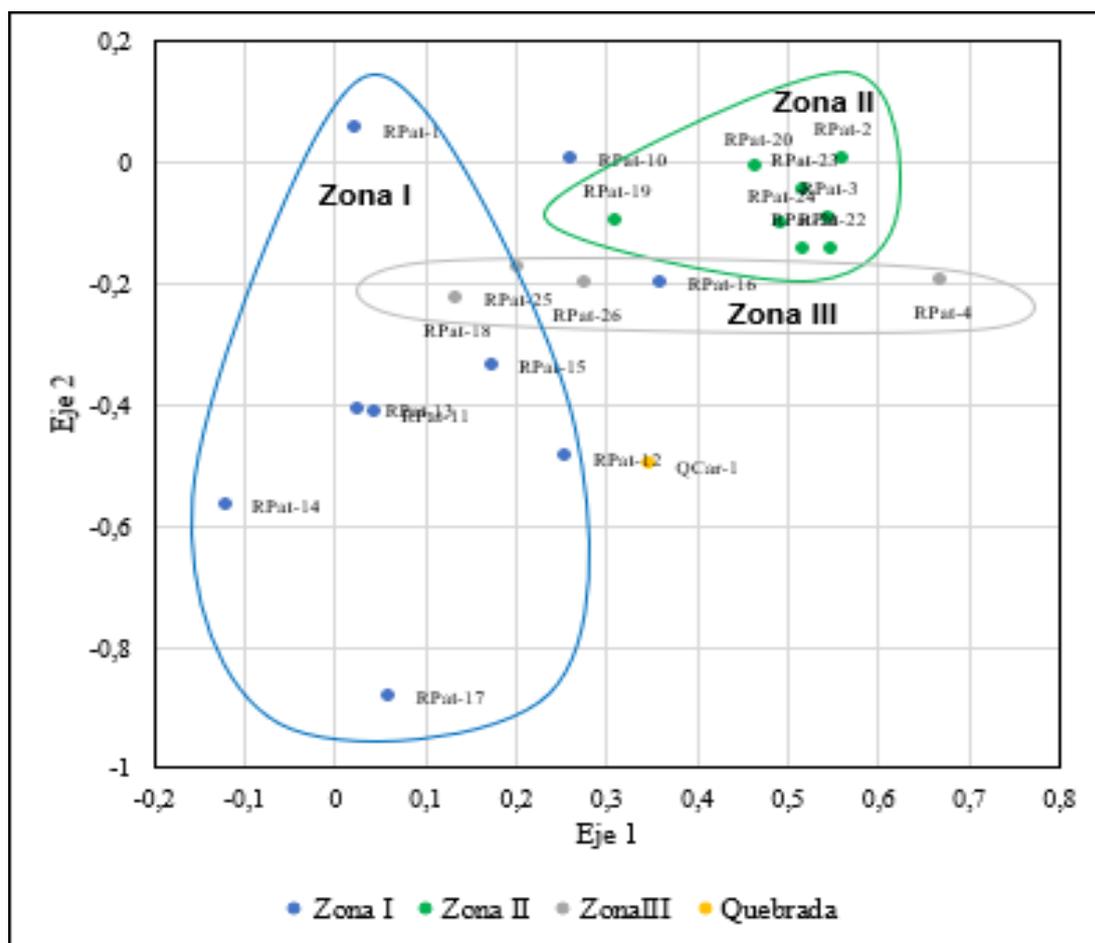


Figura 7.32. NMDS para la comunidad de perifiton - junio 2019

El NMDS de julio de 2019 mostró una ligera separación de las estaciones de la zona II, sin embargo, la cantidad de estaciones agrupadas fueron menores comparado con el de junio de 2019 (Figura 7.33). En julio, algunas de las estaciones de la zona II fueron similares con la zona I. Las estaciones de la zona III compartieron mayor similitud con las estaciones de la zona I, se puede observar como el grupo de la zona III queda incluido en la zona I. La quebrada Carhuan (estación QCar-1) mostró separarse de las estaciones restantes.

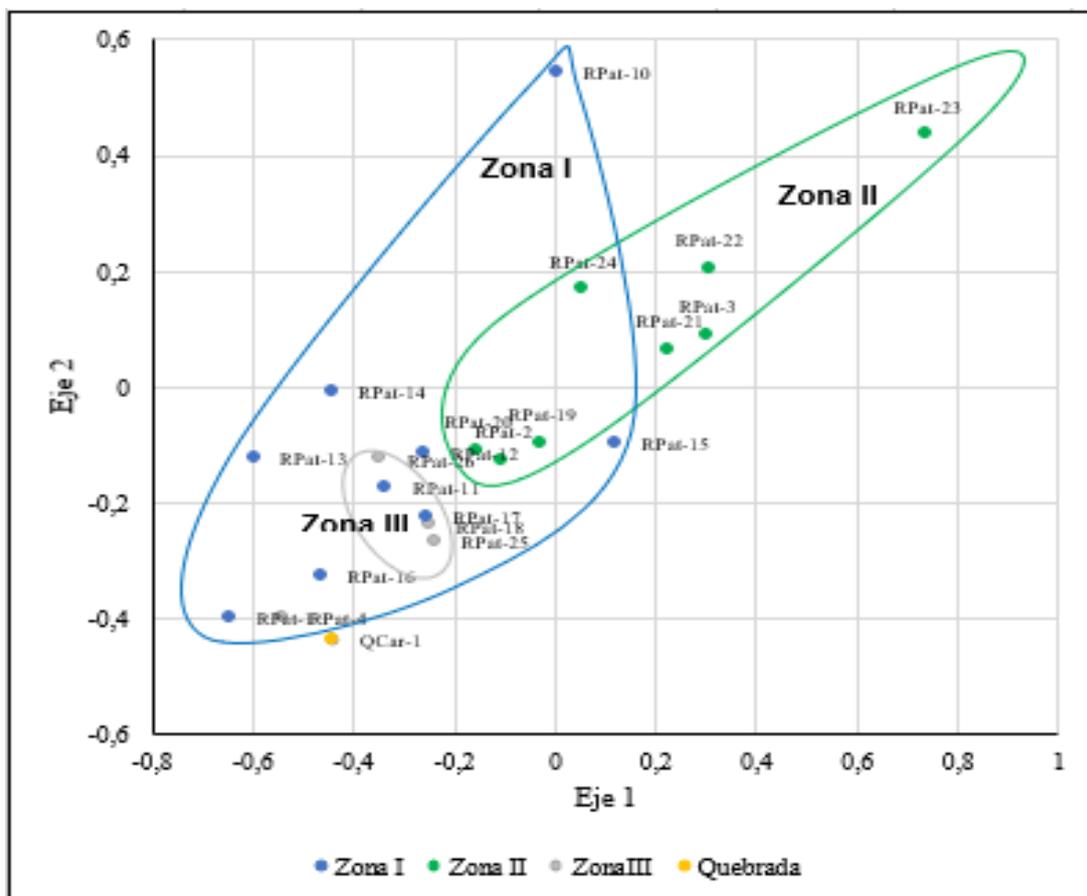


Figura 7.33. NMDS para la comunidad de perifiton – julio 2019

El NMDS de setiembre de 2019 no mostró diferencias entre las zonas I, II y III (Figura 7.34). Estas zonas se interponen entre ellas dentro del NMDS. La segregación espacial de la comunidad de perifiton se pierde durante este mes, incluso para la zona I, que se registró diferente en los meses de junio y julio de 2019. La quebrada Carhuan (estación QCar-1) mostró una separación marcada de las estaciones restantes.

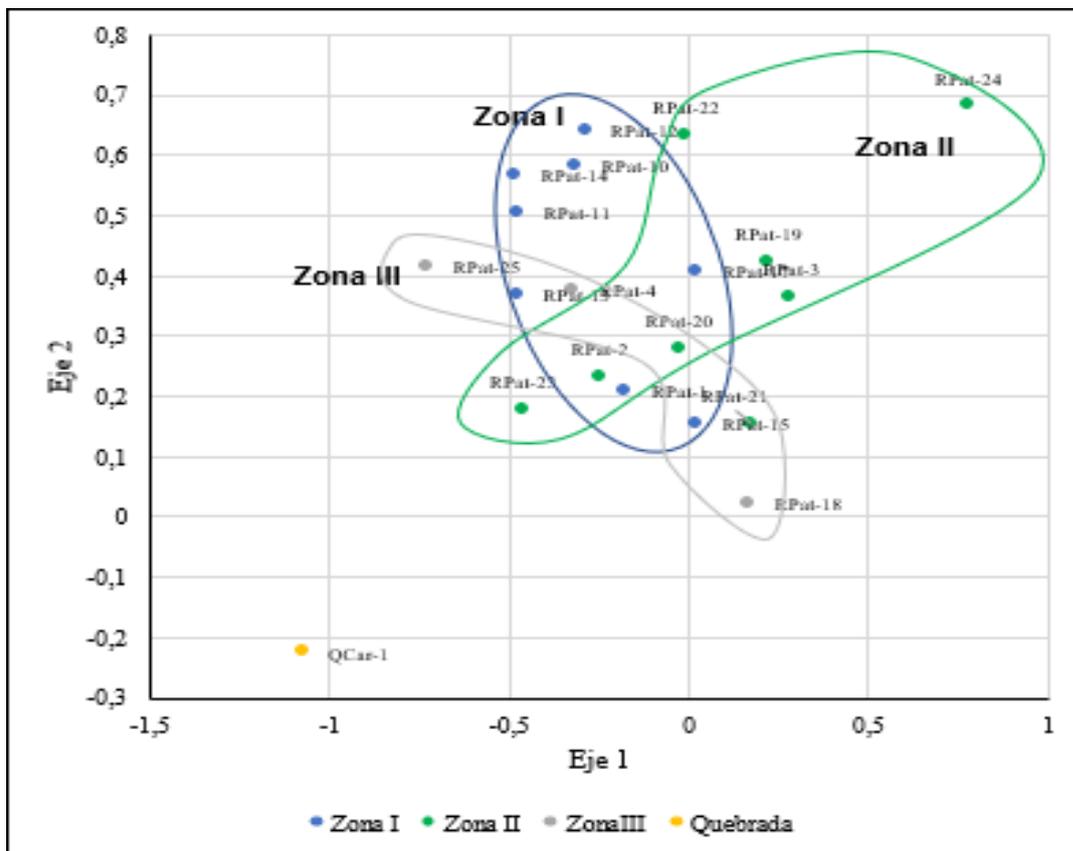


Figura 7.34. NMDS para la comunidad de perifiton – setiembre 2019

b. Análisis de correspondencias canónicas (CCA)

El CCA para los parámetros de calidad de agua y el perifiton mostró una fuerte separación de la estación QCar-1 en el mes de setiembre de 2019, como se observa en las Figura 7.35B y Figura 7.36B. Esto hizo que las estaciones restantes se agrupen en un solo lado del gráfico, haciéndolo ininteligible. Por lo tanto, se procedió a enfocar lo que ocurrió en las estaciones restantes, mostrado en el CCA de la Figura 7.35A y Figura 7.36A.

El CCA no mostró una segregación espacial entre las zonas I, II y III (Figura 7.35A), más bien, estas se traslaparon entre ellas. Las diferencias observadas en el CCA fueron a una escala temporal (Figura 7.36A), donde el mes de junio de 2019 mostró una mayor integridad que los meses de julio y setiembre de 2019, ya que estos mostraron traslaparse en el CCA. Por otro lado, las estaciones de la quebrada (QCar-1) se diferenciaron de las restantes, mostrando como la quebrada tiene una composición distinta de las estaciones restantes. Las variables que mostraron mayor influencia en la comunidad de fueron: sólidos totales disueltos (STD) con una mayor correlación con el Eje 2 y el plomo (Pb) con una mayor correlación con el Eje 1. Las variables asociadas a la productividad de algas como nitratos o fósforo total no fueron determinantes en la definición de los 2 primeros ejes del CCA.



El CCA para los parámetros en los sedimentos y la comunidad de perifiton mostró una fuerte separación de la estación QCar-1 del mes de setiembre, como se observa en el CCA (Figura 7.37B y Figura 7.38B). Esto hizo que las estaciones restantes se agrupen en un solo lado del gráfico, haciendo inteligible. Por lo tanto, se procedió a enfocar lo que ocurrió en las estaciones restantes, mostrado en el CCA de la Figura 7.37A y Figura 7.38A.

El CCA no mostró una segregación espacial, se observa como las zonas I, II y III comparten muchas áreas en común dentro del gráfico. Sin embargo, una segregación temporal es más marcada (Figura 7.38A). Las estaciones de la quebrada (QCar-1) tuvieron una composición diferente, reflejándose en su separación de los grupos restantes. Los vectores de los metales estuvieron en la misma dirección, mostrando una relación similar con la comunidad de macroinvertebrados bentónicos (Figura 7.37A).

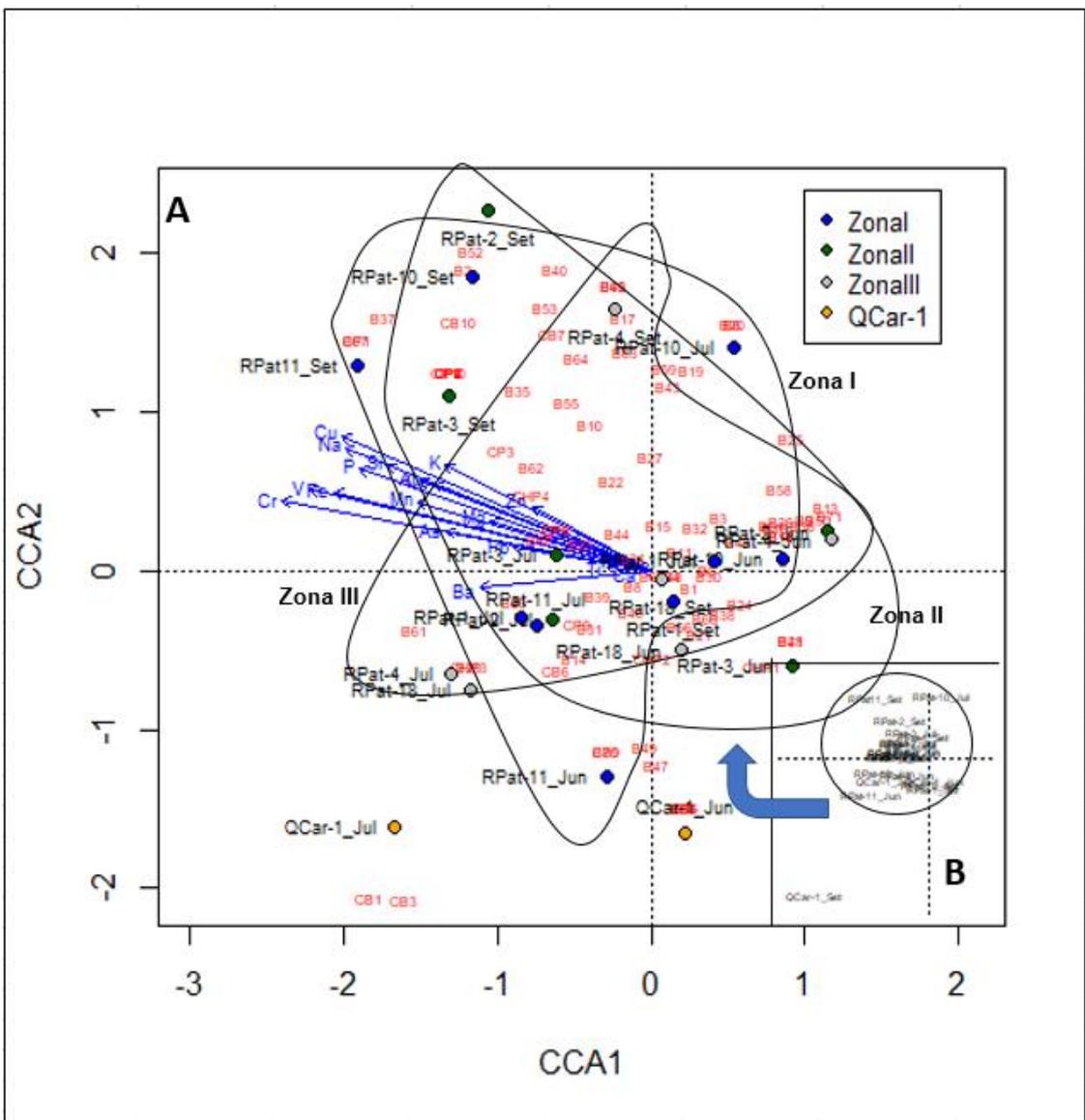


Figura 7.37. CCA para los parámetros de sedimentos y la comunidad de perifiton - zonas

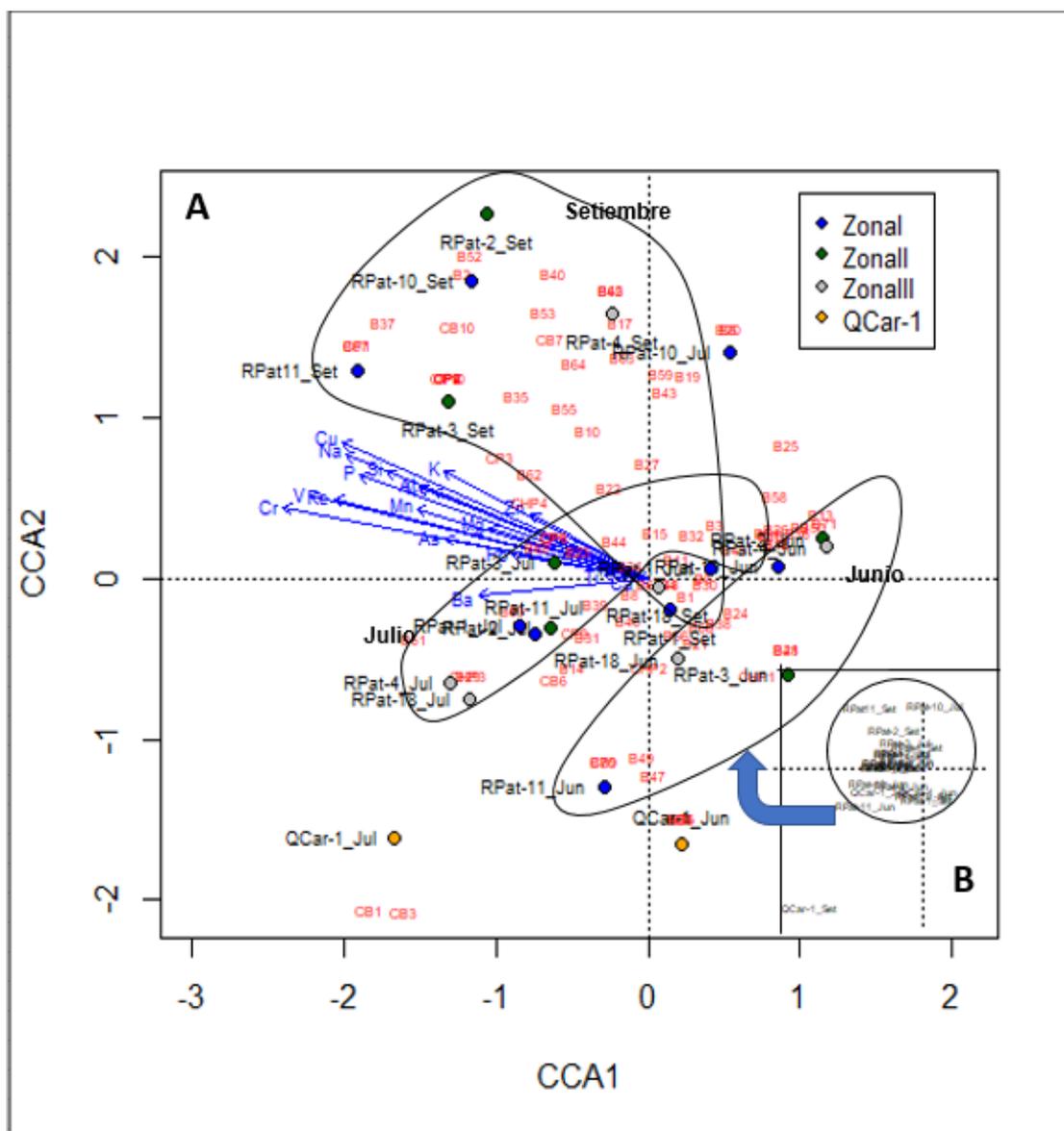


Figura 7.38. CCA para los parámetros de sedimentos y la comunidad de perifiton - temporadas

7.3.3 Macroinvertebrados bentónicos

Se calculó la composición porcentual de los órdenes de insecta por cada zona y temporada de evaluación (Figura 7.39). En junio de 2019, la composición taxonómica presentó más diferencias, con una mayor representación de especies de Diptera en la zona II y mayor representación de especies de Ephemeroptera y Coleoptera en las zonas I y III. En julio y setiembre de 2019 la representación de los órdenes de insecta fue similar entre las zonas I, II y III. La quebrada Carhuan tuvo una composición diferente con respecto a las zonas I, II y III, caracterizándose por la presencia de especies de Odonata y la escases de especies de Diptera, este patrón se repitió en los meses de junio, julio y setiembre de 2019.



«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad»

Tabla 7.16. Composición porcentual del Phylum Insecta para los macroinvertebrados bentónicos

Table with 13 columns: PHYLUM, and 12 sub-columns for months and zones (Zonal, Zonall, Zonalll, Quebrada) for June, July, and September 2019. Rows list insect orders like Odonata, Ephemeroptera, etc.

Fuente: Anexo 10 y Anexo 13, informes de identificación taxonómica.

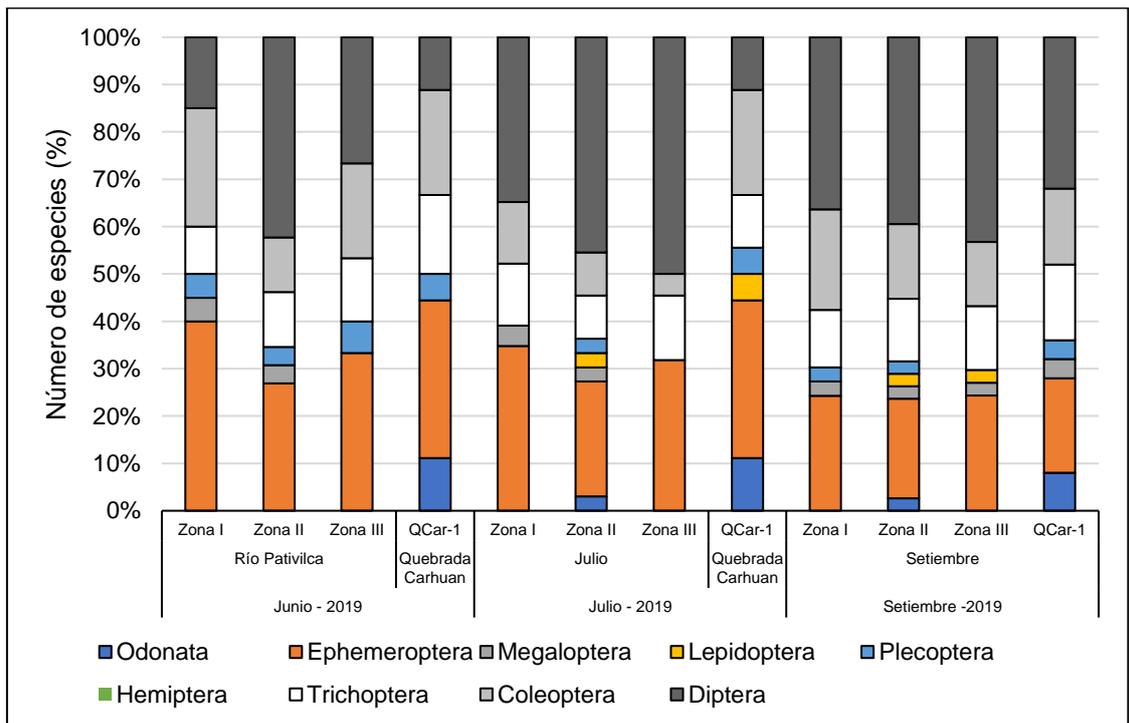


Figura 7.39. Gráfico de barras porcentual para la composición del Phylum Insecta de macroinvertebrados bentónicos

7.3.3.1 Diversidad alfa

A. Curva de acumulación de especies

Los parámetros de la función de Clench para estimar la riqueza de las zonas por temporadas se encuentra en la Tabla 7.17.

Las curvas de acumulación de especies (figuras 7.40, 7.41 y 7.42) mostraron una mayor cantidad potencial de especies en la zona de caudal reducido (zona II) en especial en los meses de junio y julio de 2019, mientras que en setiembre de 2019 la cantidad de especies



en la zona de caudal reducido es casi igual para la zona de impacto (zona III). La quebrada fue el único lugar donde no se realizó curvas de acumulación, sin embargo, la riqueza de esa muestra fue indicada en las figuras 7.40, 7.41, 7.42, mostrando valores de riqueza entre 20 (junio, julio de 2019) y 27 (setiembre de 2019).

Tabla 7.17. Parámetros de la función de Clench y riqueza estimada de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos por zonas y temporadas

Temporada	Zonas	Función de Clench		Riqueza estimada
		a	b	
Junio de 2019	Zona I	8,37	0,33	25,63
	Zona II	9,51	0,25	38,40
	Zona III	5,59	0,26	21,65
Julio de 2019	Zona I	12,98	0,46	28,39
	Zona II	20,51	0,49	41,62
	Zona III	23,63	0,96	24,64
Setiembre de 2019	Zona I	19,41	0,46	41,78
	Zona II	30,59	0,63	48,23
	Zona III	31,32	0,69	45,35

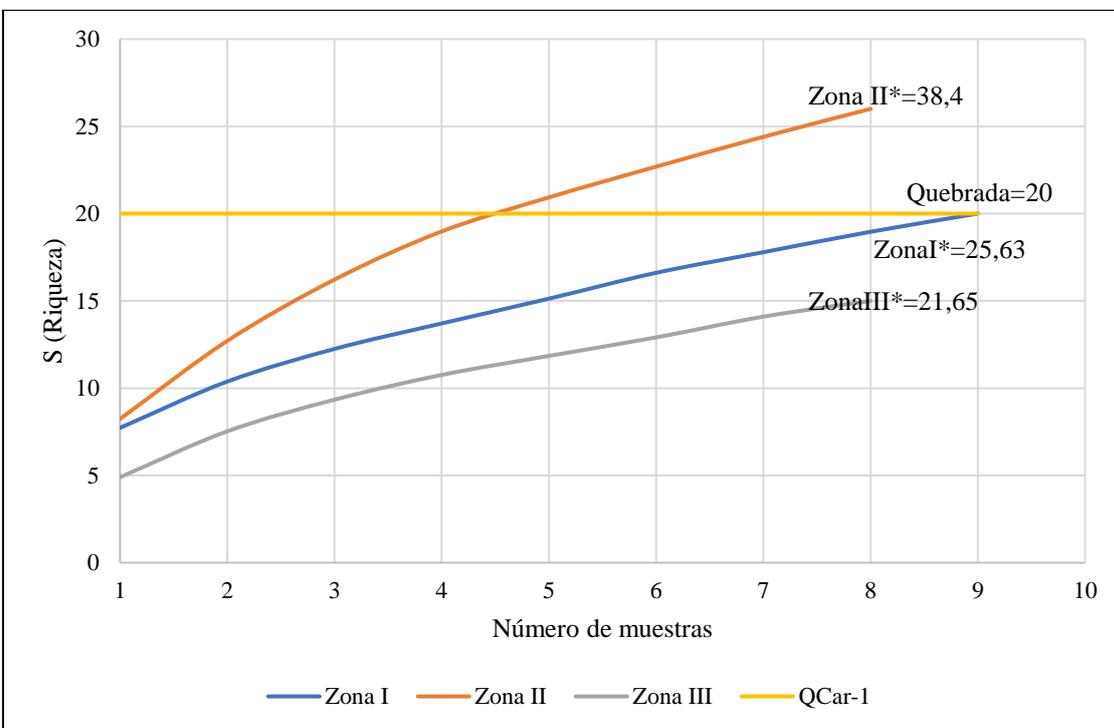


Figura 7.40. Curva de acumulación de especies para macroinvertebrados bentónicos - junio 2019

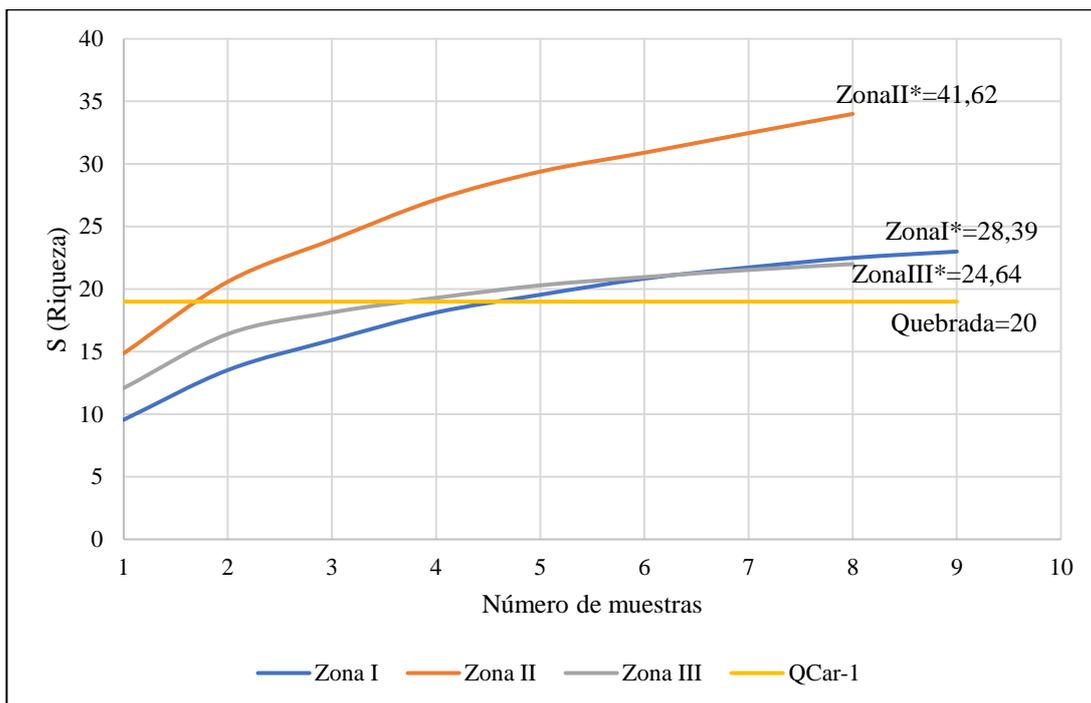


Figura 7.41. Curva de acumulación de especies para macroinvertebrados bentónicos – julio 2019

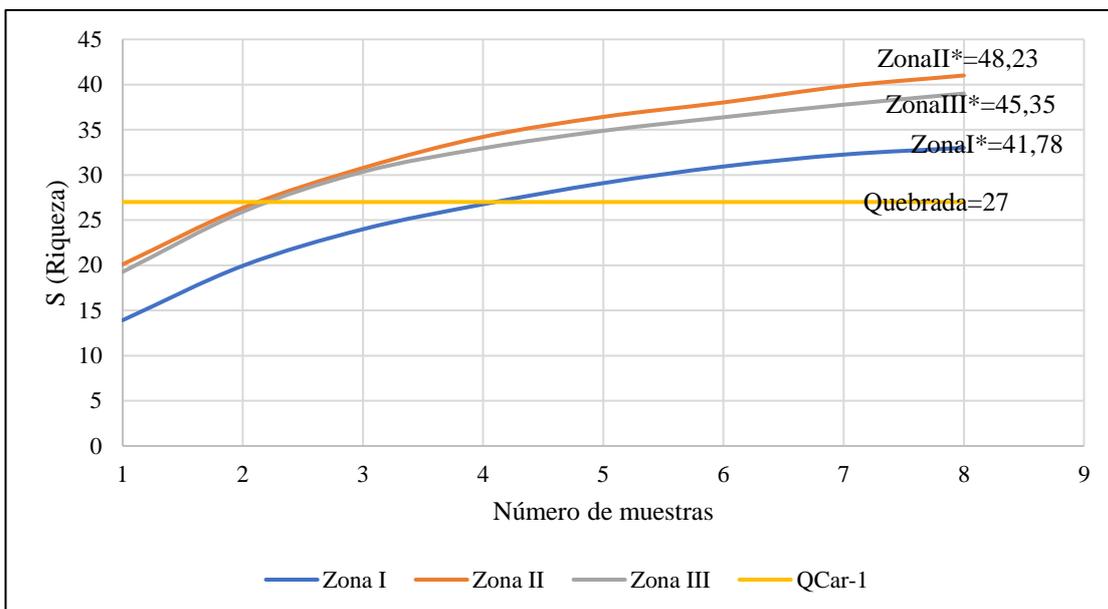


Figura 7.42. Curva de acumulación de especies para macroinvertebrados bentónicos – setiembre 2019

B. Índices de diversidad

a. Índice de Shannon – Wiener (H')

Los valores del índice de Shannon – Wiener para cada estación, ordenadas por zonas y temporadas se encuentran en la Tabla 7.18

En junio de 2019, la zona I presentó mayores registros de H' en comparación con la zona II. La zona III presentó los registros más bajos de H'. El único registro de la quebrada



Carhuan (QCar-1) fue el más alto (2,453 nits/individuo). El gráfico de cajas del H' para el mes de junio de 2019 se encuentra en la Figura 7.43.

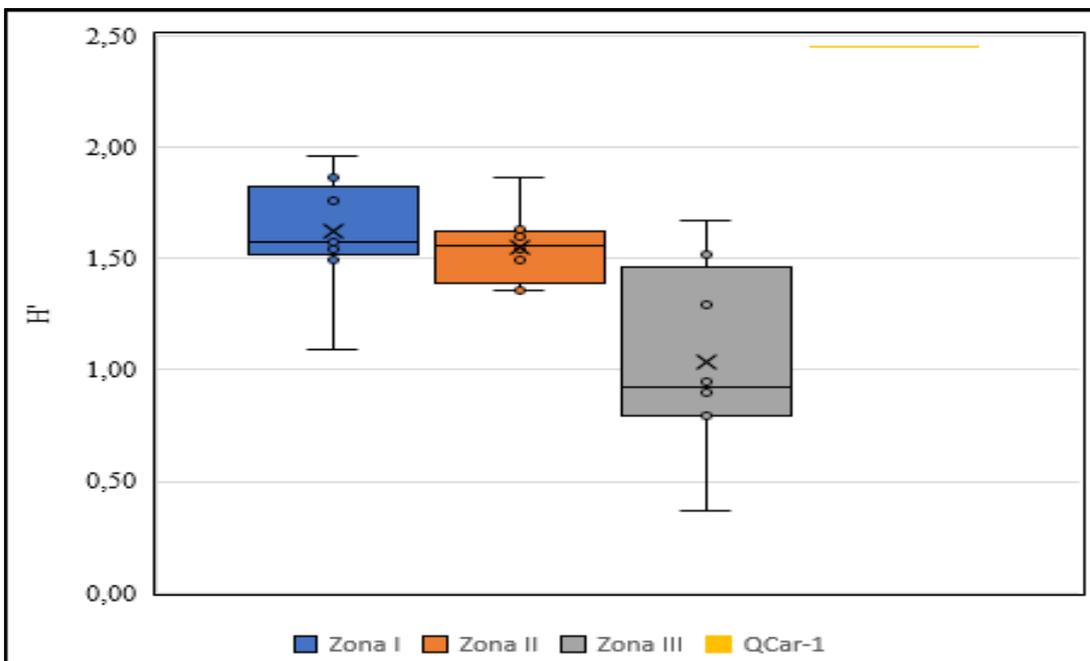


Figura 7.43. Gráfico de cajas del índice de Shannon - Wiener (H') para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos – junio 2019

En julio de 2019, las 3 zonas tuvieron registros similares del índice de Shannon – Wiener variando en un rango entre 0,4 y 2,5 nits/individuo. La quebrada (QCar-1) tuvo un registro de 1,844 nits/individuo, el cual no superó a los registros más altos obtenidos por las zonas. El gráfico de cajas del H' para el mes de julio de 2019 se encuentra en la Figura 7.44.

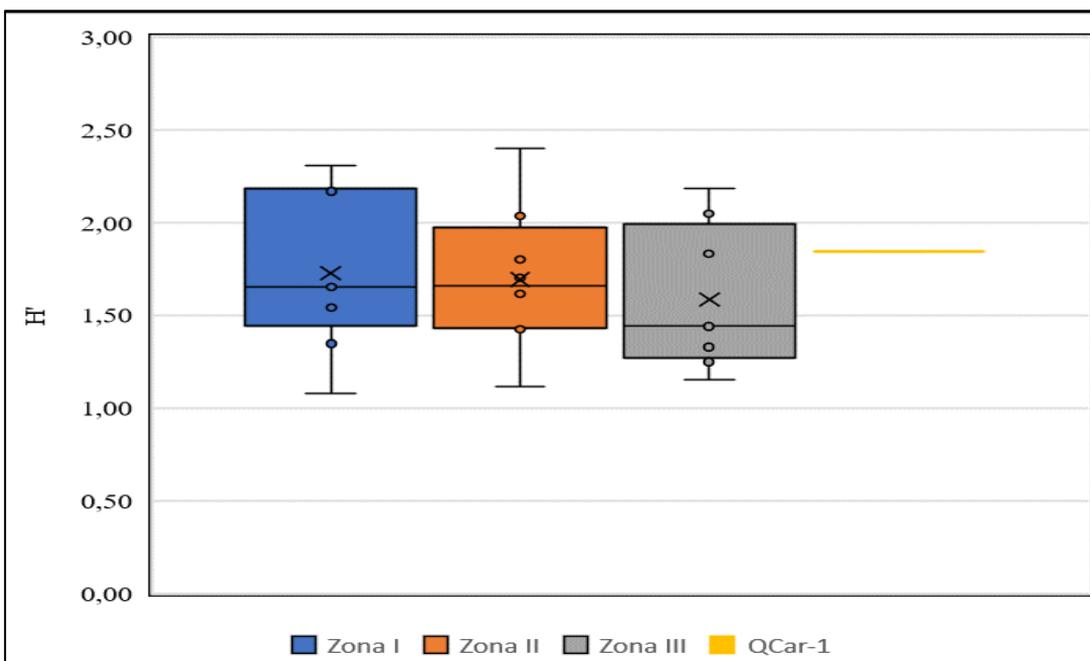


Figura 7.44. Gráfico de cajas del índice de Shannon - Wiener (H') para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos – julio 2019



En setiembre de 2019. Los registros más altos fueron obtenidos por la zona II y zona III, en comparación con la zona I; un escenario diferente a lo ocurrido en junio de 2019. La quebrada (QCar-1) tuvo un registro de 2,411 nits/individuo) muy próximo a la media y mediana de las zonas II y III. En este mes, los registros de las zonas II están menos dispersos, con valores que superan los 2,0 nits/individuo (Figura 7.45).

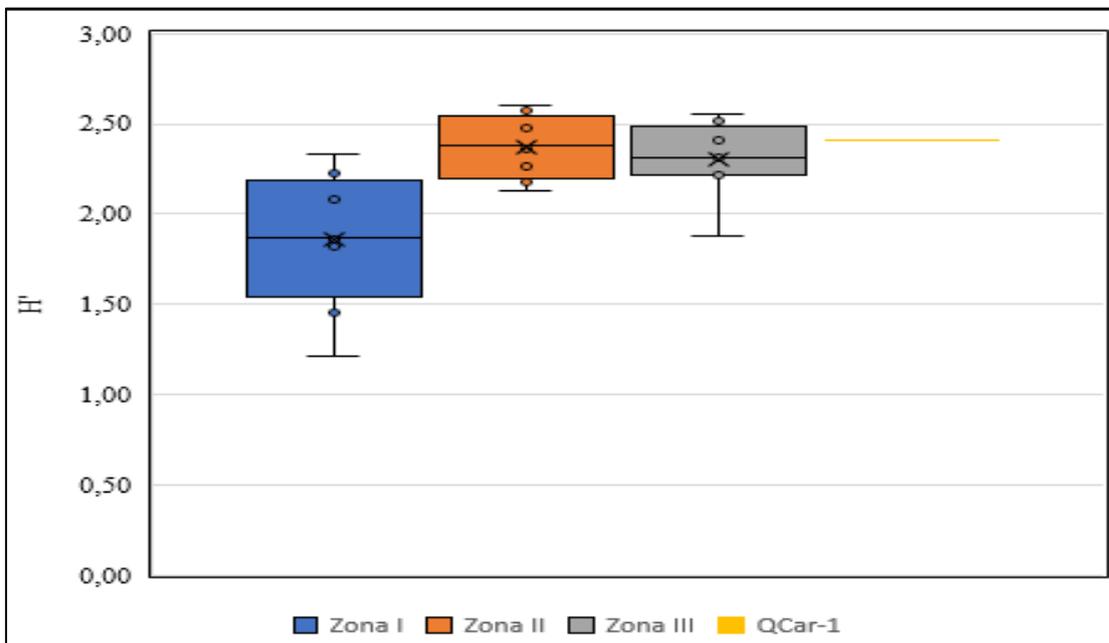


Figura 7.45. Gráfico de cajas del índice de Shannon - Wiener (H') para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos - setiembre 2019

Tabla 7.18. Registros del índice de Shanon para la comunidad de comunidad de perifiton – junio 2019macroinvertebrados bentónicos

Zonas	Estaciones	Junio 2019	Julio 2019	Setiembre 2019
Zona I	RPat-15	1,864	2,307	1,817
	RPat-14	1,088	1,692	2,227
	RPat-13	1,490	1,076	1,862
	RPat-12	1,573	1,347	1,213
	RPat-11	1,540	1,54	1,452
	RPat-16	1,756	2,2	SR
	RPat-10	1,958	1,556	2,081
	RPat-17	1,571	2,168	2,333
Zona II	RPat-1	1,783	1,655	1,868
	RPat-2	1,859	1,703	2,478
	RPat-19	1,494	2,402	2,606
	RPat-20	1,543	1,119	2,569
	RPat-23	1,600	2,034	2,394
	RPat-24	1,565	1,799	2,365
	RPat-21	1,633	1,615	2,176
	RPat-3	1,356	1,423	2,261
Zona III	RPat-22	1,354	1,458	2,13
	RPat-4	0,371	1,249	2,308
	RPat-26	0,800	1,442	SR
	RPat-18	1,516	1,152	2,411
	RPat-32	0,898	2,183	2,217
	Rpat-33	1,667	1,329	2,516
	Rpat-34	0,950	1,44	2,551



Zonas	Estaciones	Junio 2019	Julio 2019	Setiembre 2019
	Rpat-35	0,796	1,833	2,318
	Rpat-5	1,291	2,047	2,228
	Rpat-25	SR	SR	1,876
Quebrada	Qcar-1	2,453	1,844	2,411

SR: Sin Registro

b. Equidad de Pielou (J')

Los registros de la Equidad de Pielou de cada estación, ordenadas por zonas y temporadas se encuentran en la Tabla 7.19

En junio de 2019 la equidad fue mayor para la zona I, seguido por la zona II y finalmente la zona III. La zona III presentó los registros más bajos de equidad, con valores por debajo de 0,600 unidades. La quebrada (QCar-1) presentó un valor de 0,819 unidades, un registro muy próximo a la mediana de la zona I (Figura 7.46).

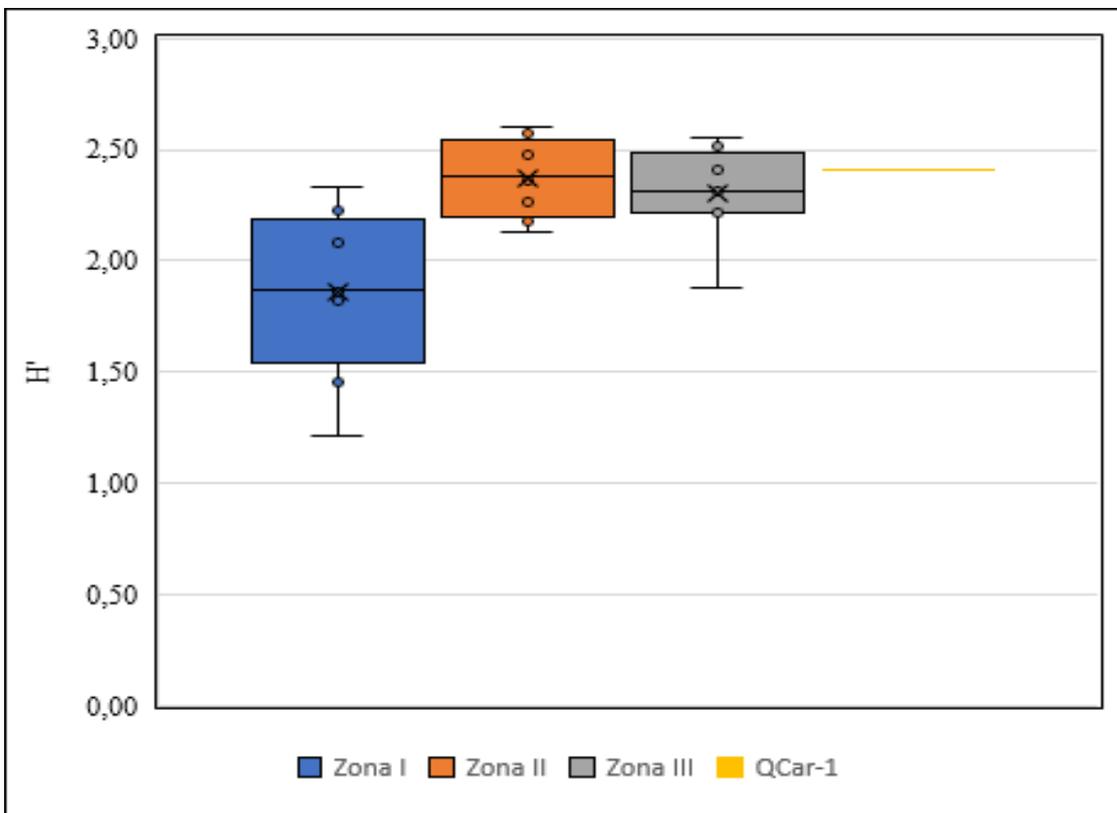


Figura 7.46. Gráfico de cajas de la Equidad de Pielou (J') para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos – junio 2019

En julio de 2019 la zona I presentó una media y mediana superior a la zona II y zona III. La zona II y III tuvieron un comportamiento similar en sus valores, sin embargo, la mediana de la zona III fue superior a la zona II. La quebrada (estación QCar-1) presentó un valor de 0,626 unidades, un valor inferior en comparación con media y mediana de la zona I (Figura 7.47).

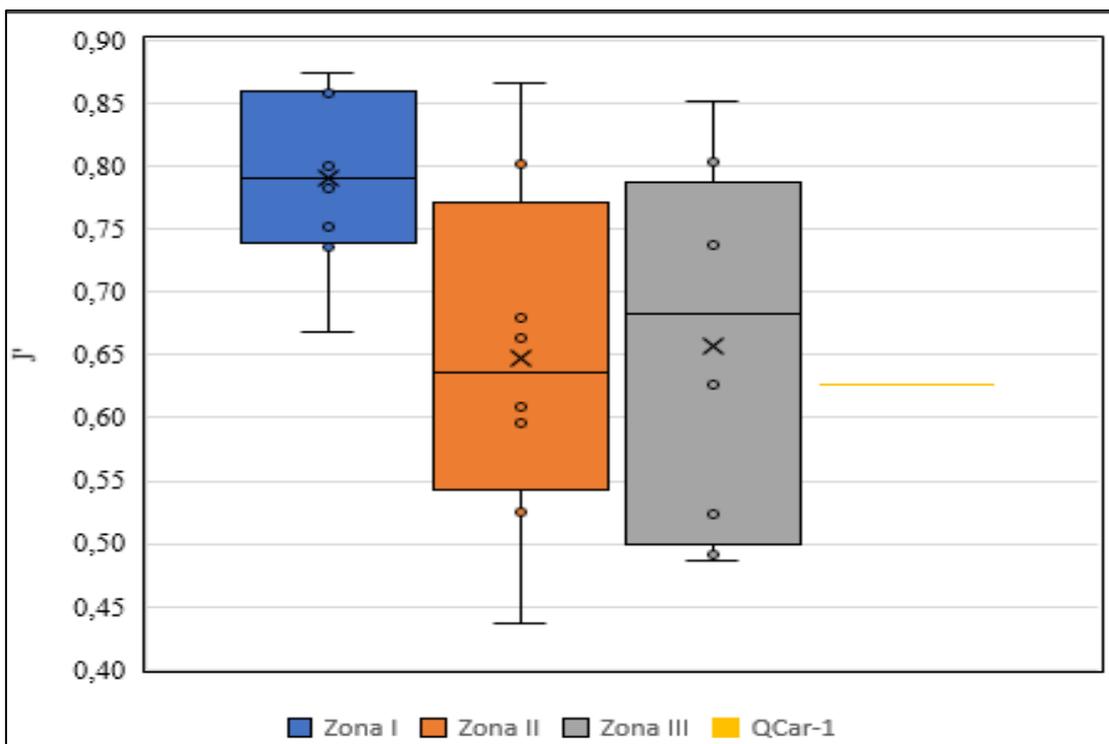


Figura 7.47. Gráfico de cajas de la Equidad de Pielou (J') para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos – julio 2019

En setiembre de 2019 los registros más altos de equidad fueron para la zona II, con valores superiores a 0,750 unidades. Un comportamiento similar fue encontrado para la zona III, sin embargo, la zona I presentó registros de equidad más bajos. La quebrada (QCar-1) presentó un registro de 0,731 unidades, un valor muy próximo a la mediana de la zona I (Figura 7.48).

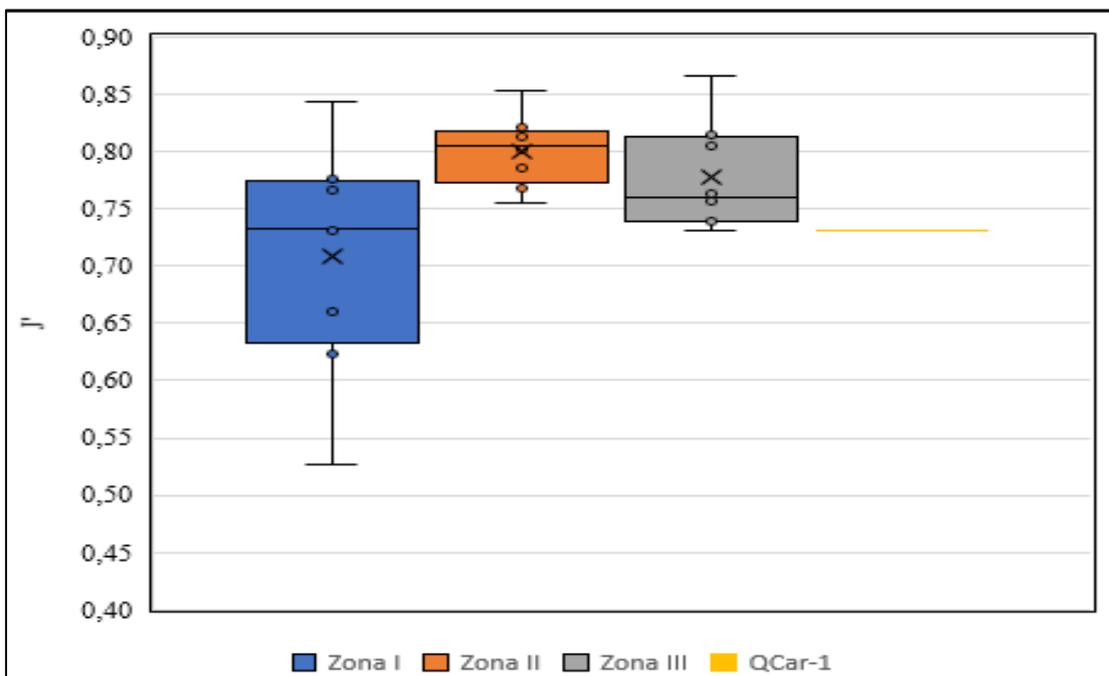


Figura 7.48. Gráfico de cajas de la Equidad de Pielou (J') para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos - setiembre 2019

**Tabla 7.19.** Registros de la Equidad de Pielou para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos

Zonas	Estaciones	Junio 2019	Julio 2019	Setiembre 2019
Zona I	RPat-15	0,958	0,874	0,731
	RPat-14	0,676	0,735	0,844
	RPat-13	0,926	0,669	0,776
	RPat-12	0,977	0,752	0,527
	RPat-11	0,860	0,860	0,661
	RPat-16	0,733	0,858	SR
	RPat-10	0,891	0,800	0,735
	RPat-17	0,655	0,782	0,766
Zona II	RPat-1	0,857	0,851	0,624
	RPat-2	0,894	0,664	0,802
	RPat-19	0,928	0,802	0,820
	RPat-20	0,644	0,436	0,755
	RPat-23	0,728	0,679	0,813
	RPat-24	0,752	0,865	0,853
	RPat-21	0,785	0,596	0,785
	RPat-3	0,617	0,526	0,768
Zona III	RPat-22	0,696	0,608	0,807
	RPat-4	0,338	0,487	0,815
	RPat-26	0,577	0,626	SR
	RPat-18	0,942	0,524	0,805
	RPat-32	0,462	0,851	0,740
	Rpat-33	0,930	0,491	0,763
	Rpat-34	0,865	0,804	0,867
	Rpat-35	0,725	0,738	0,739
Quebrada	Rpat-5	0,664	0,739	0,757
	Rpat-25	SR	SR	0,732
	Qcar-1	0,819	0,626	0,731

SR: Sin Registro

c. Abundancia (N)

Los registros de abundancias de cada estación, ordenadas por zonas y temporadas son presentados en la Tabla 7.20.

En junio de 2019, la quebrada (QCar-1) presentó la mayor cantidad de individuos. Por otro lado, las zonas I, II y III presentaron registros de abundancias similares entre ellas, sin embargo, la media y mediana de la zona II fue ligeramente superior a las zonas I y III (Figura 7.49).

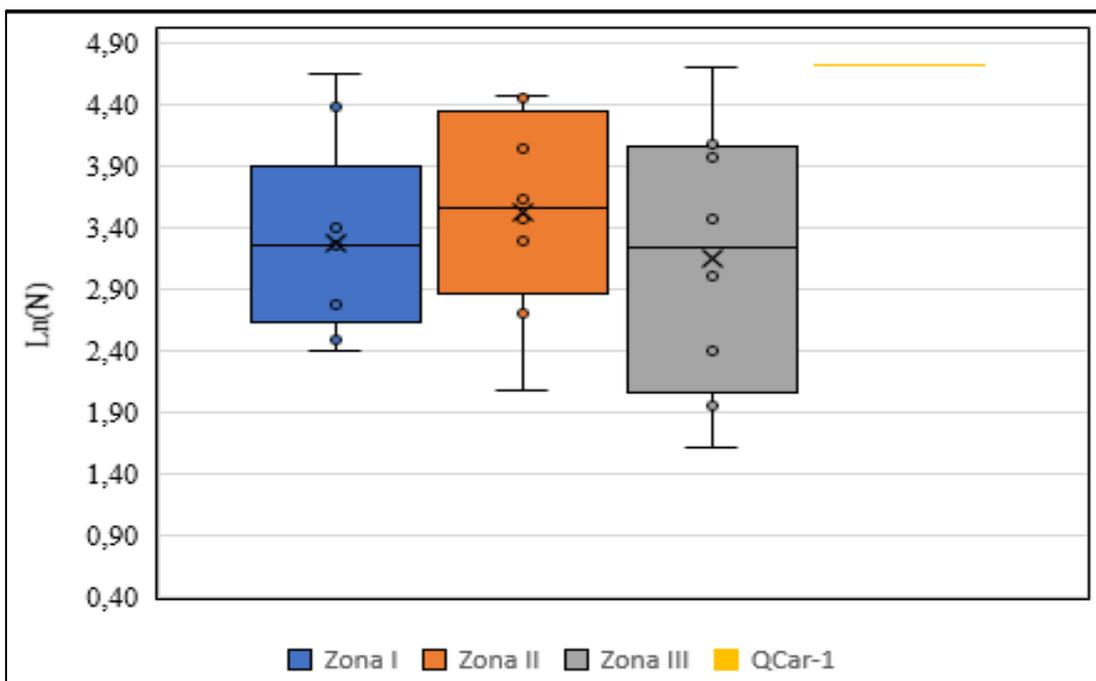


Figura 7.49. Gráfico de cajas del logaritmo natural de la abundancia $\ln(N)$ para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos – junio 2019

En julio de 2019, la quebrada (QCar-1) mostró tener el registro más alto de abundancia en comparación con las zonas I, II y III (Figura 7.50). Para este mes, los registros de abundancia de la zona II superaron en muchas unidades a la zona I, mientras que la zona III, compartió algunos registros similares con la zona II.

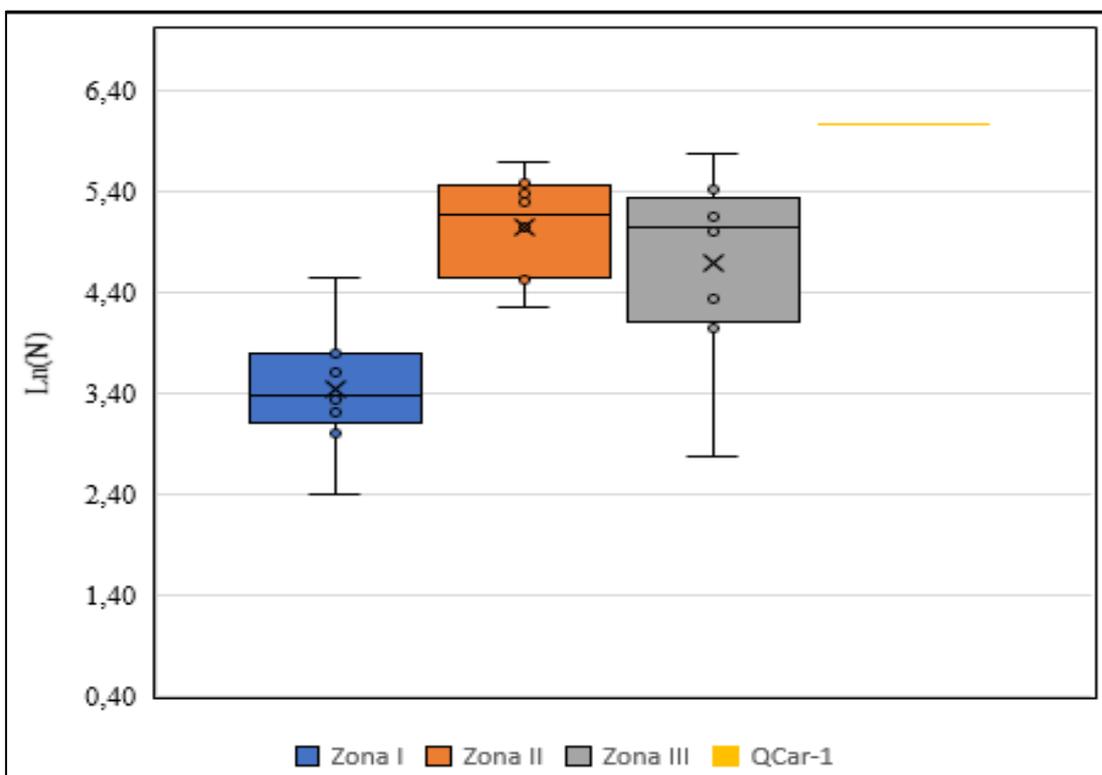


Figura 7.50. Gráfico de cajas del logaritmo natural de la abundancia ($\ln(N)$) para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos – julio 2019



En setiembre de 2019 la zona I continuo con registros de abundancia bajos en comparación con la zona II y zona III (Figura 7.51). La zona II y III tuvieron una media y mediana similar, sin embargo, algunas estaciones de la zona II presentaron los registros más altos (RPat-23=2691 individuos y RPat-20= 2335 individuos). La quebrada (QCar-1) no mostró tener el registro de abundancia más alto (511 individuos), a diferencia de lo ocurrido en junio y julio de 2019.

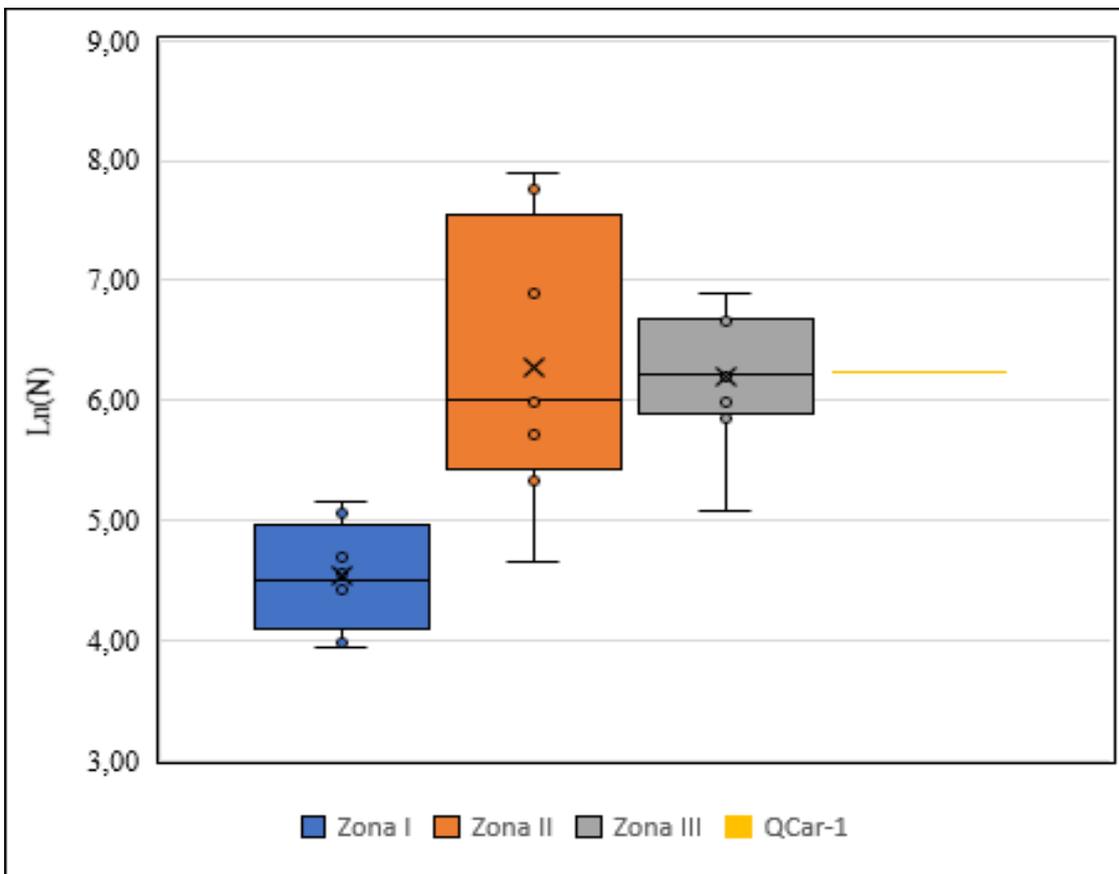


Figura 7.51. Gráfico de cajas del logaritmo natural de la abundancia Ln(N) para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos – setiembre 2019

Tabla 7.20. Registros de la Abundancia para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos

Zonas	Estaciones	Junio 2019	Julio 2019	Setiembre 2019
Zona I	RPat-15	12	29	84
	RPat-14	17	44	95
	RPat-13	16	37	52
	RPat-12	26	20	84
	RPat-11	11	11	54
	RPat-16	105	44	SR
	RPat-10	26	28	109
	RPat-17	80	94	174
	RPat-1	30	25	157
Zona II	RPat-2	15	98	979
	RPat-19	8	198	305
	RPat-20	87	296	2335
	RPat-23	27	216	2691
	RPat-24	86	71	397
	RPat-21	38	243	417



Zonas	Estaciones	Junio 2019	Julio 2019	Setiembre 2019
	RPat-3	57	156	205
	RPat-22	32	93	106
Zona III	RPat-4	32	150	492
	RPat-26	20	76	SR
	RPat-18	11	160	394
	RPat-32	59	57	161
	Rpat-33	53	319	801
	Rpat-34	5	16	347
	Rpat-35	7	171	980
	Rpat-5	110	224	787
	Rpat-25	SR	SR	504
Quebrada	Qcar-1	112	432	511

SR: Sin Registro

7.3.3.2 Calidad ecológica

El ABI es un índice usado para ríos altoandinos, sin embargo, este fue usado para el río Pativilca debido a que la mayoría de las familias de macroinvertebrados bentónicos del índice fueron encontradas en el área de estudio. La familia Corydalidae fue la única que no tuvo puntaje, el cual fue complementado con el puntaje de esta familia en el índice *Biological Monitoring Water Party* (Roldan, 2008)

Los valores del ABI para la mayoría de las zonas por temporada estuvieron por encima del valor de «muy bueno» del ABI. Solo en julio de 2019 las zonas I y III estuvieron por debajo del valor de «muy bueno», pero por encima del valor de «bueno» (Figura 7.52).

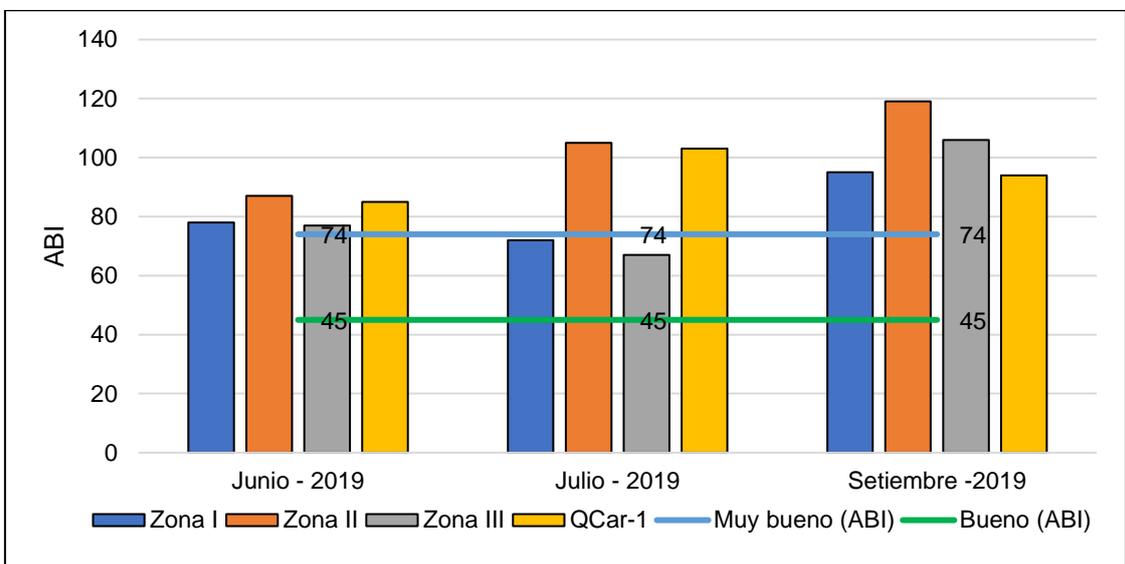


Figura 7.52. Gráfico de barras para los puntajes del ABI

7.3.3.3 Índice de macroinvertebrados – loticos para evaluación de caudal (LIFE)

La zona II mostró valores altos del LIFE, en comparación con las zonas I y III (Figura 7.53), alcanzando los registros más altos en setiembre de 2019. Una exploración de la cantidad de familias obtenidas por cada grupo de preferencia a determinada condición hidráulica (Figura 7.54) nos muestra que el grupo I (familias asociadas a rápidos) es común en todas las zonas y temporadas, incluyendo la quebrada. La zona II (zona de caudal reducido) presentó una mayor cantidad de familias pertenecientes al grupo III y IV (familias asociadas a un flujo lento o ausente), características más notorias en el mes de julio y setiembre de



2019. Este aumento de familias con esas preferencias da a entender el aumento de ese tipo de hábitat en la zona II, escasa o ausente en la zona I y III.

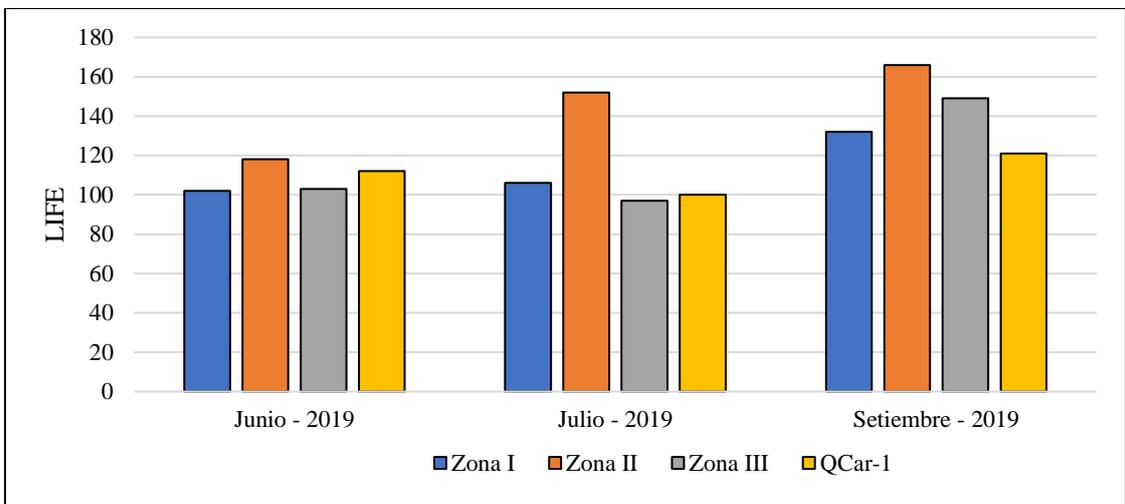


Figura 7.53. Gráfico de barras para los puntajes del LIFE

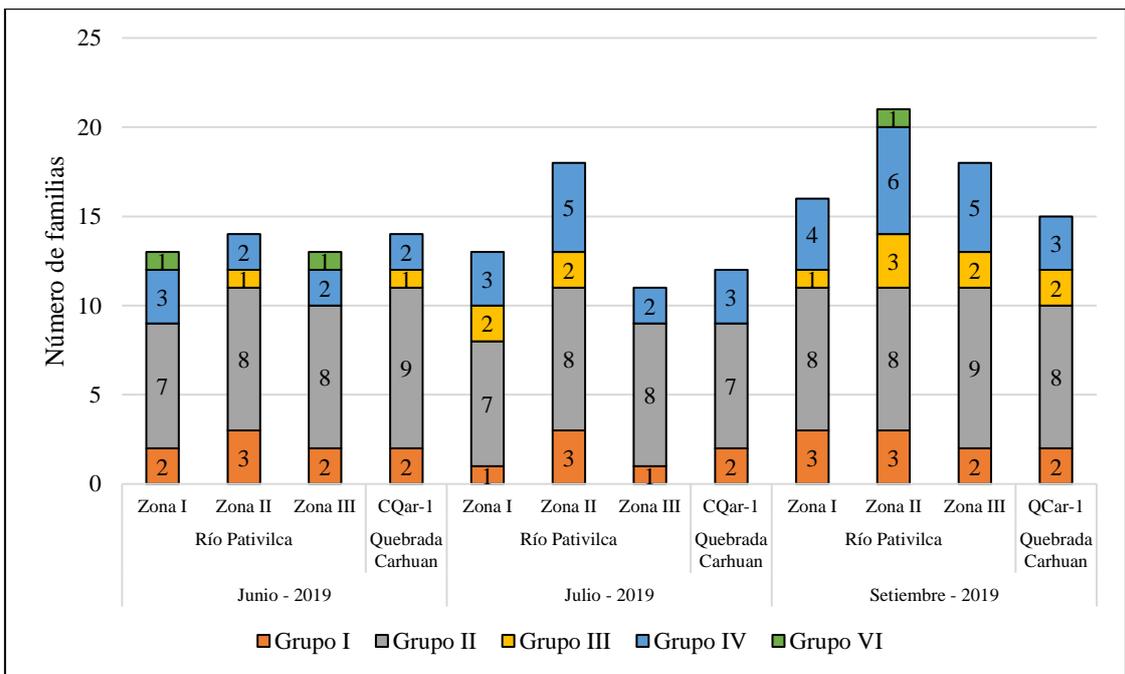


Figura 7.54. Número de familias encontradas en cada categoría del LIFE

7.3.3.4 Análisis multivariado

a. Escalamiento multidimensional no métrico (NMDS)

El NMDS en junio de 2019 no mostró una marcada diferencia entre las zonas de evaluación, las zonas se superponen unas con otras en el NMDS (Figura 7.55). La quebrada Carhuan es la única estación que parece alejarse de las restantes, junto con la estación RPat-34.

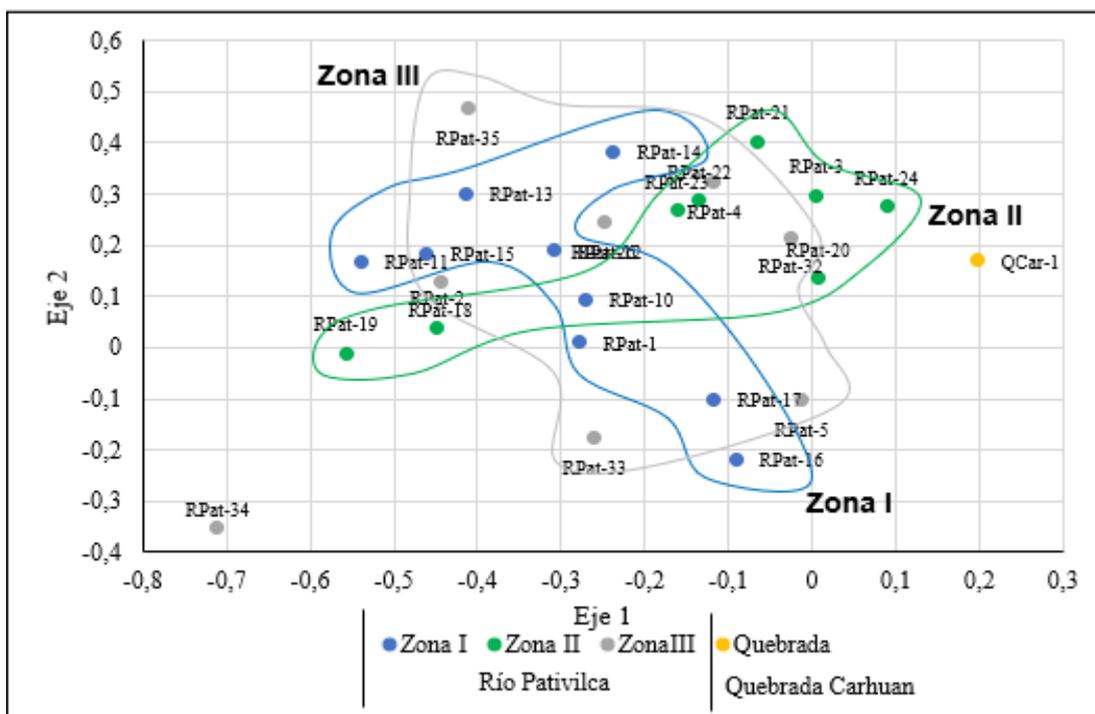


Figura 7.55. Escalamiento multidimensional no métrico para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos – junio 2019

El NMDS en julio de 2019 mostró un mayor acercamiento de las estaciones de la zona I y una mayor separación de este grupo de estaciones con la zona II (Figura 7.56). Las estaciones de la zona III mostraron más similitud con las estaciones de la zona I.

En setiembre de 2019 el NMDS mostró un agrupamiento de las estaciones de la zona I. La zona II se separa del resto de estaciones, con excepción de la estación RPat-2, que parece compartir similitud con las estaciones de la zona III. Un par de estaciones (RPat-20 y RPat-23) de la zona II parecen alejarse de las restantes, mientras que la quebrada comparte más características con estaciones de la zona II (Figura 7.57).

En las 3 temporadas, se puede apreciar una tendencia a presentar diferencias entre las zonas. En algunos casos, la diferencia puede ser más tenue que en otros, sin embargo, deja evidencia la estructura comunitaria dispar entre las zonas I, II, III y la quebrada, marcándose mayormente en setiembre de 2019 (mes de caudal más bajo entre las 3 temporadas).



«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad»

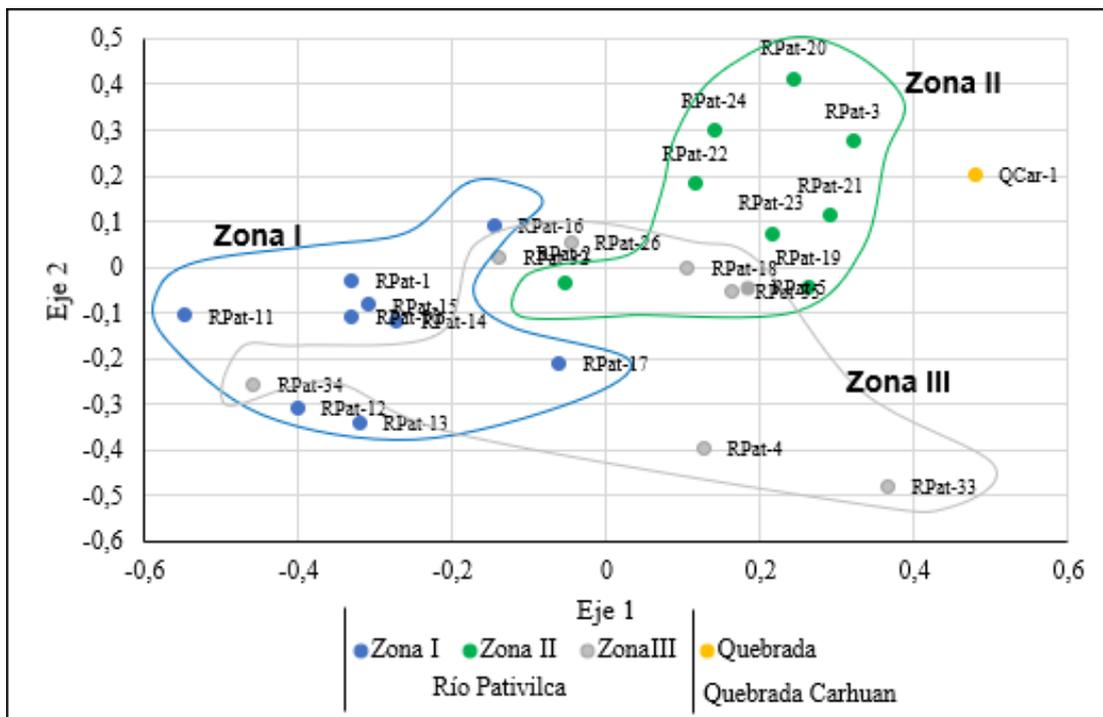


Figura 7.56. Escalamiento multidimensional no métrico para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos – julio 2019

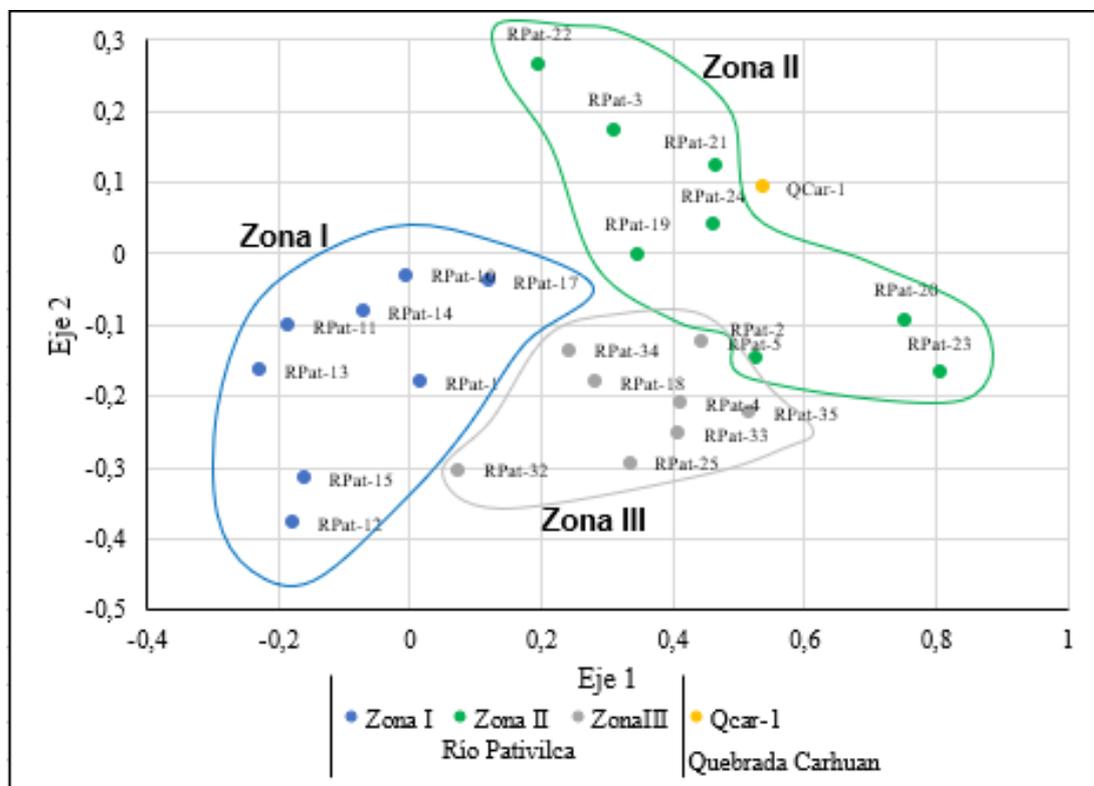


Figura 7.57. Escalamiento multidimensional no métrico para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos – setiembre 2019



b. Análisis de correspondencias canónicas (CCA)

El análisis de correspondencias canónicas (CCA) para parámetros de calidad de agua y macroinvertebrados bentónicos (Figura 7.58) permitió observar una agrupación de las estaciones de la zona I para las 3 temporadas (junio, julio y setiembre de 2019). Por otro lado, las 3 temporadas de la quebrada (QCar-1) se agruparon muy próximas entre ellas, sólo compartiendo similitud con la estación RPat-3 de julio, mientras que, algunas de las estaciones de la zona II y zona III tuvieron similitud entre ellas. La falta de segregación temporal en el CCA (Figura 7.59), dio a entender que muchas de las estaciones tienen un comportamiento similar en términos de calidad de agua y macroinvertebrados bentónicos entre junio, julio y setiembre de 2019. Las mayores diferencias son en términos espaciales, en particular, la zona I y la quebrada (QCar-1). La presencia de Diptera parece haber sido un factor clave en el ordenamiento de las estaciones, en especial en la agrupación de la zona I, donde se pudo observar la escasa presencia de especies de Diptera en esa parte del Eje CCA2. Entre las variables de calidad de agua, sólidos totales disueltos (STD) tuvo una mayor correlación con el Eje CCA1 y el hierro (Fe) tuvo una mayor correlación con el Eje CCA2. El vector de la variable sólidos totales disueltos (STD) estuvo muy cercana a varias variables de metales, mostrando un patrón de respuesta similar de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos con respecto a estas y a los sólidos totales disueltos.

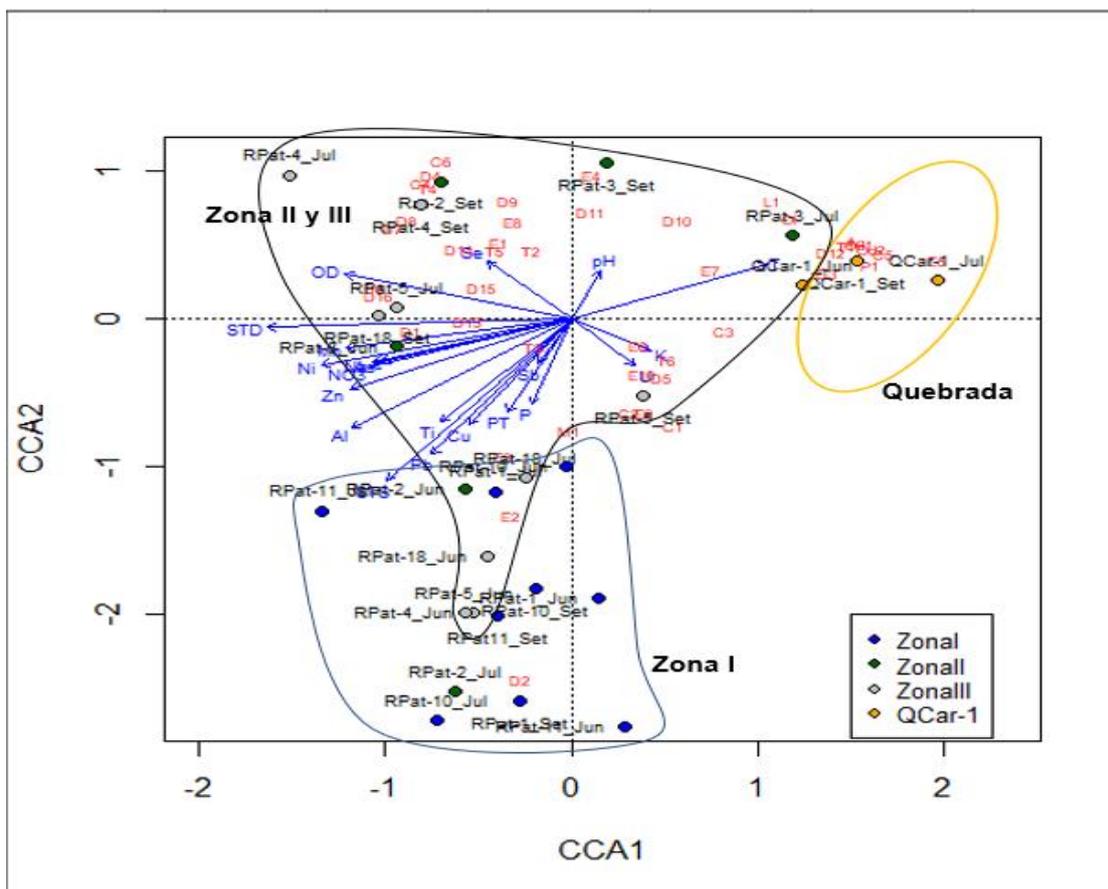


Figura 7.58. CCA usando parámetros de calidad de agua y macroinvertebrados bentónicos - zonas

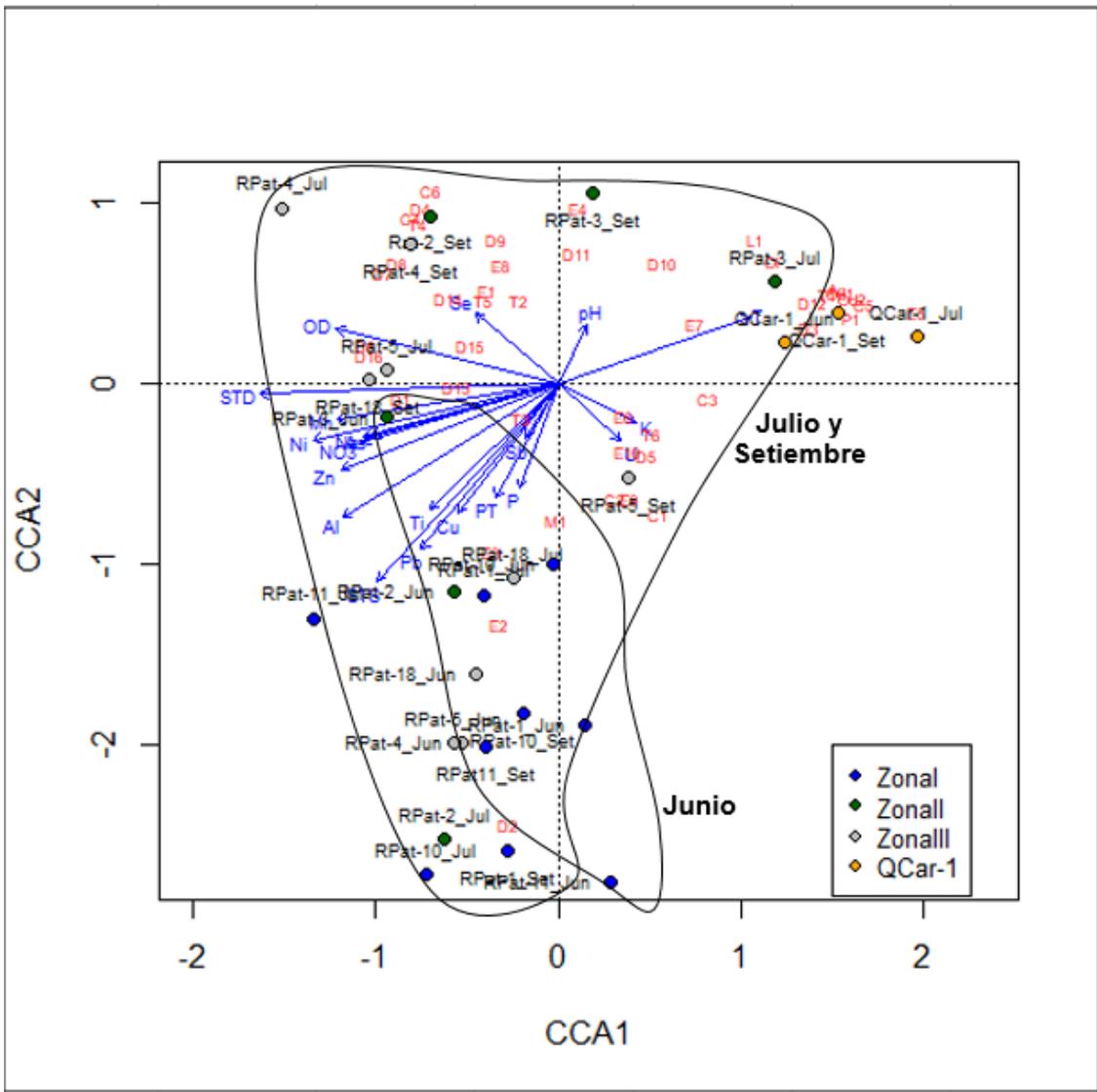


Figura 7.59. CCA para los parámetros de calidad de agua y la comunidad de macroinvertebrados bentónicos - temporadas

El CCA para metales de sedimentos y macroinvertebrados bentónicos (Figura 7.60 y Figura 7.61) mostró una tendencia similar al de la Figura 7.60, no se observó una separación temporal (Figura 7.61), sino más bien una separación espacial. Las estaciones de la zona I mostraron separarse de las estaciones restantes, de la misma forma que la quebrada (QCar-1), sin embargo, la separación entre las estaciones de la zona II y zona III pareció ser difusa, compartiendo similitud entre varias de ellas. Varias especies Diptera se agruparon en la parte inferior del Eje 2, resaltando la diferencia ocurrida entre estaciones.



«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad»

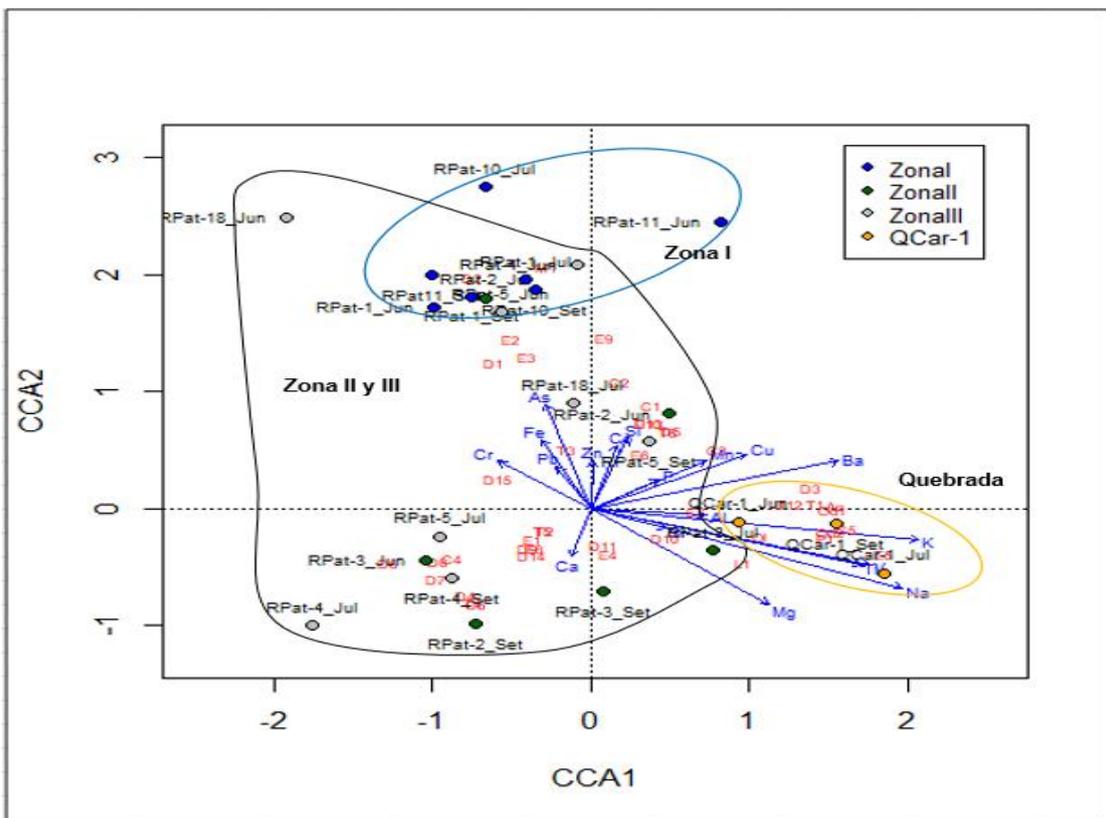


Figura 7.60. CCA para los parámetros de sedimentos y la comunidad de macroinvertebrados bentónicos - zonas

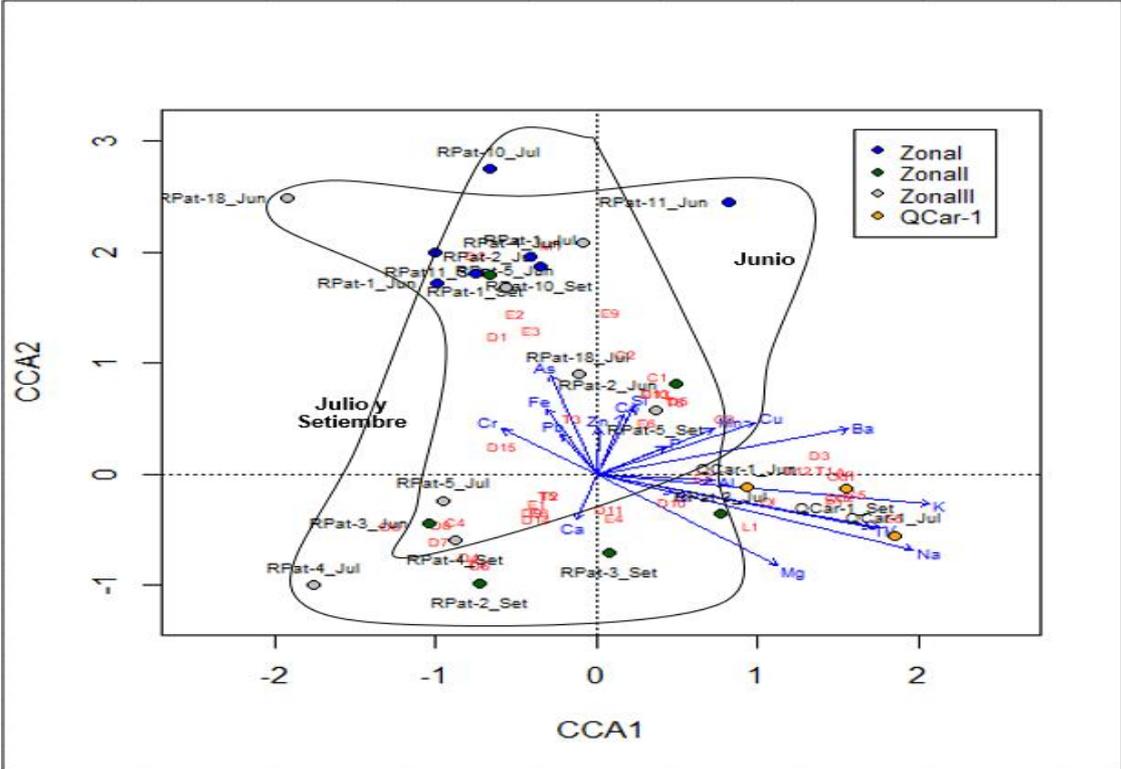


Figura 7.61. CCA para los parámetros de sedimentos y la comunidad de macroinvertebrados bentónicos - temporadas

7.3.4 Camarón de río (*Cryphiops caementarius*)

7.3.4.1 Distribución de tallas

La distribución de tallas en intervalos de 0,5 cm (Figura 7.62) y de 1 cm (Figura 7.63) se realizó solo a nivel espacial. Las zonas presentaron diferencias en la distribución de tallas, la zona I presentó una distribución unimodal, caracterizada por la ausencia de individuos pequeños (cerca de los 4 cm). Por otro lado, la zona II y zona III mostraron un comportamiento bimodal, teniendo picos en tallas pequeñas (cerca de los 4 cm) y en tallas altas (cerca de los 10 cm).

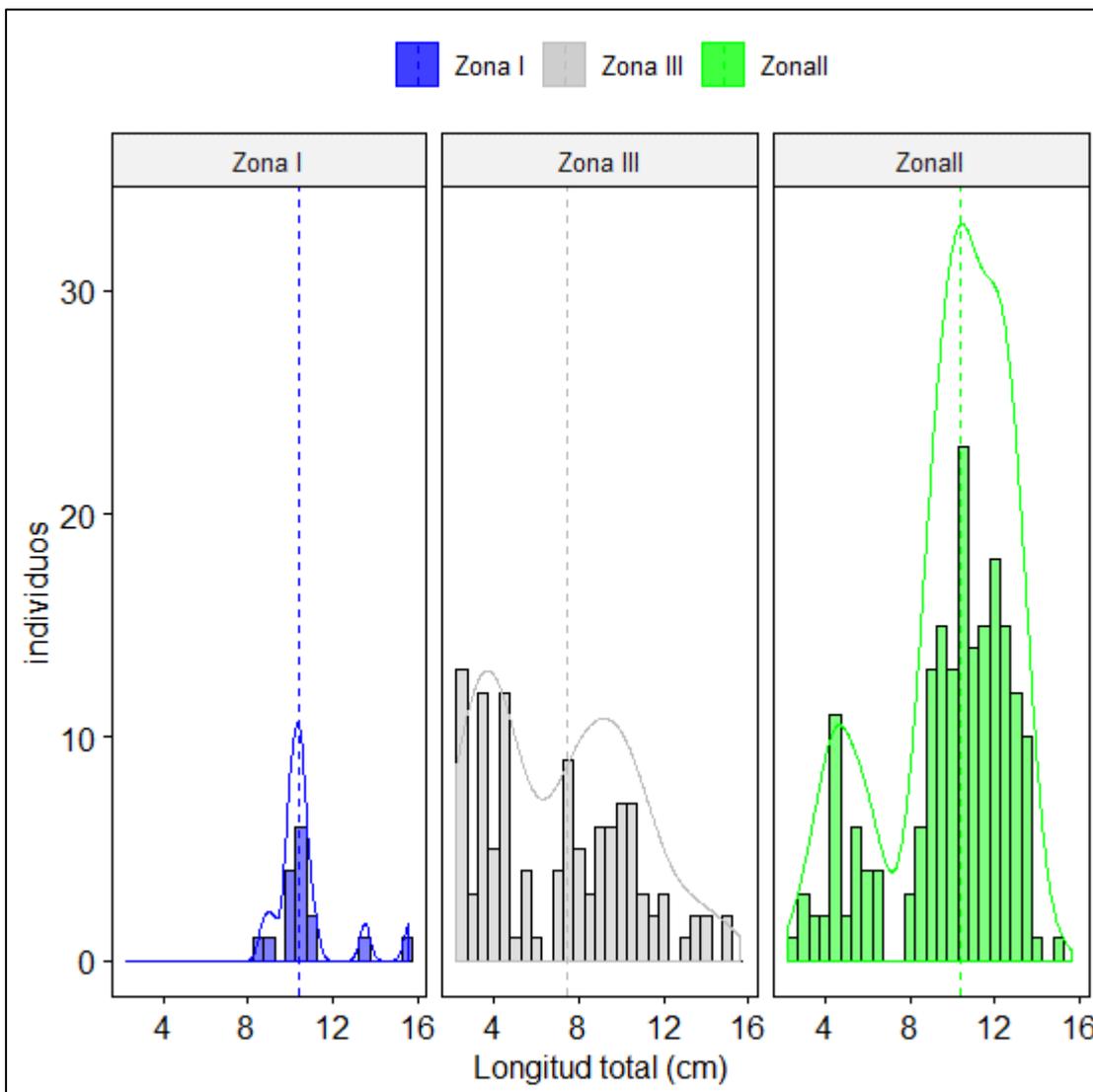


Figura 7.62. Histograma para las tallas de camarones con intervalos de 0,5 cm

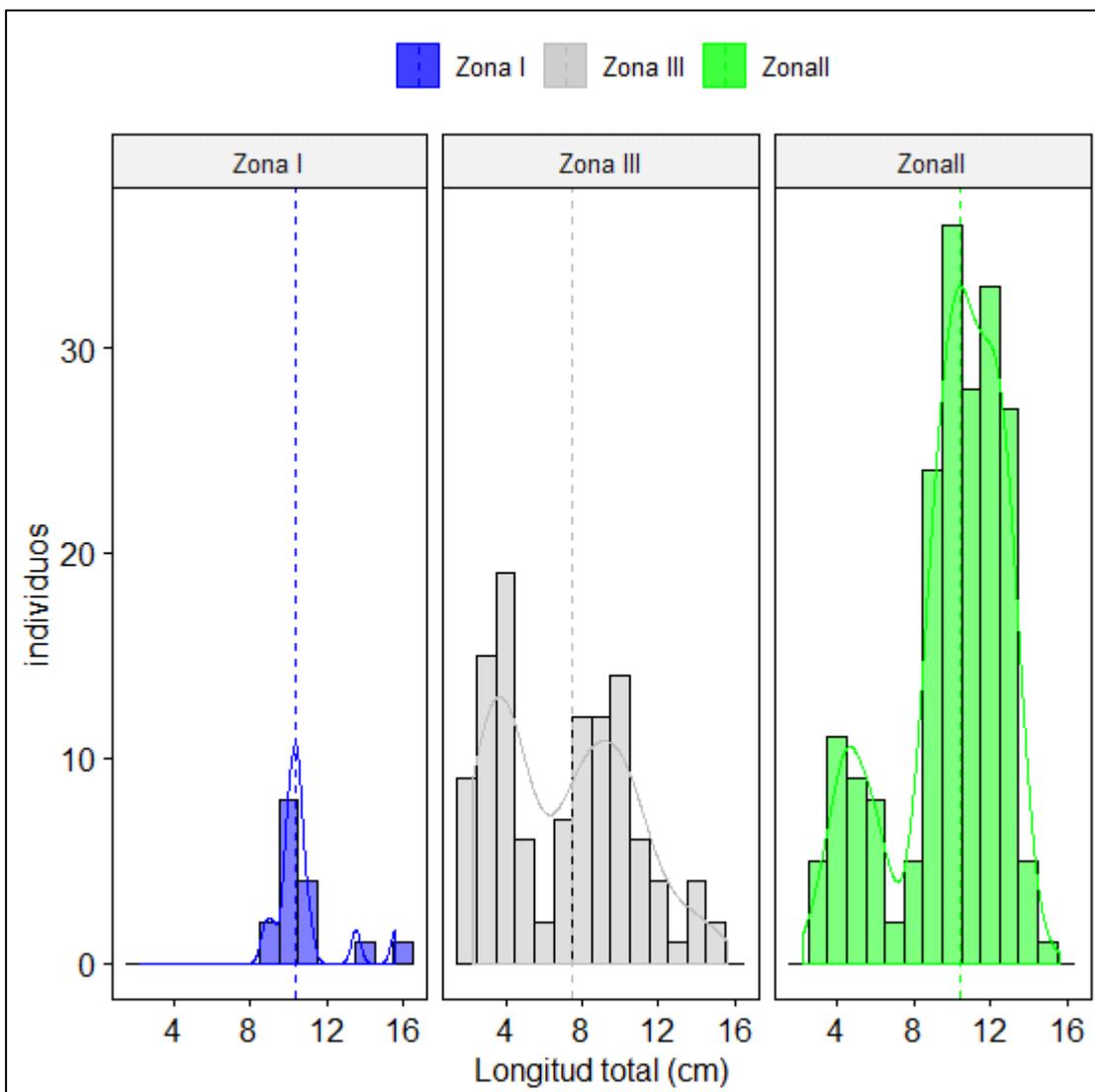


Figura 7.63. Histograma para las tallas de camarones con intervalos de 1 cm

7.3.4.2 Relación longitud – peso total y factor de condición

Los *Cryphiops caementarius* machos presentaron un mayor desarrollo de uno del segundo par de periopodo (Viacava, *et al.* 1978), esta condición genera que estén predispuestos a tener un peso superior a las hembras, las cuales carecen de esta característica. Debido a esto, la relación alométrica entre la longitud (cm) y el peso (g) se hizo por separado para machos (Figura 7.64) y hembras junto a juveniles (Figura 7.65). La Figura 7.64 muestra como los valores se ajustan al modelo potencial, con un coeficiente de determinación de 0,8896 y la Figura 7.65 muestra un ajuste de 0,9337 para el modelo potencial de hembras con juveniles.

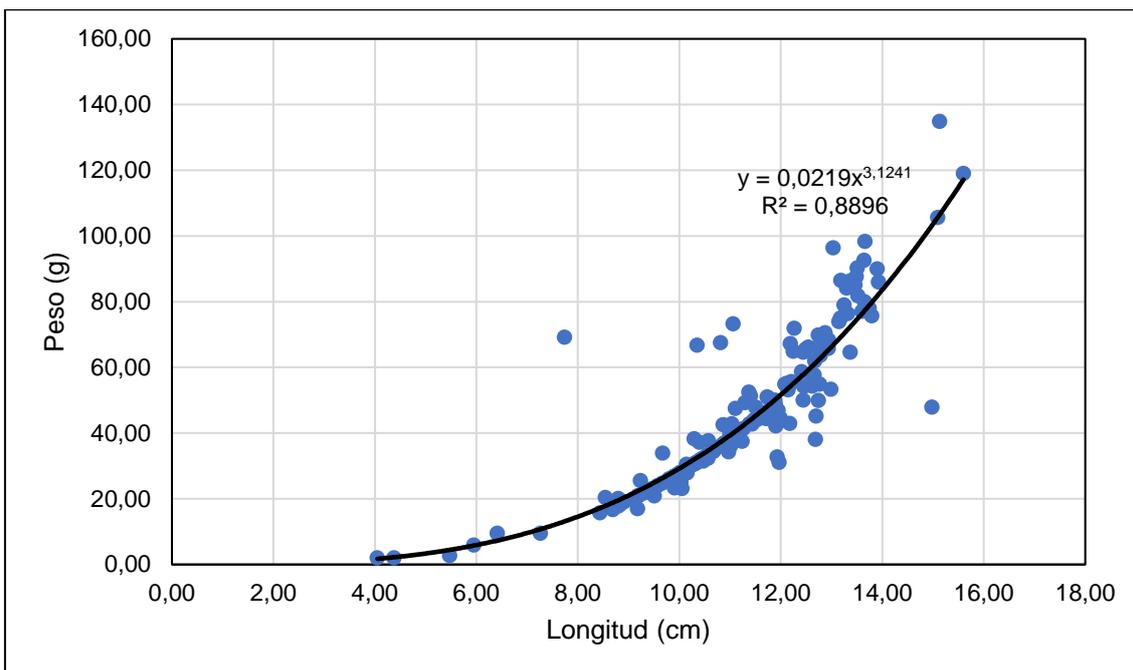


Figura 7.64. Relación alométrica entre los valores de longitud (cm) y peso (g) para camarones machos

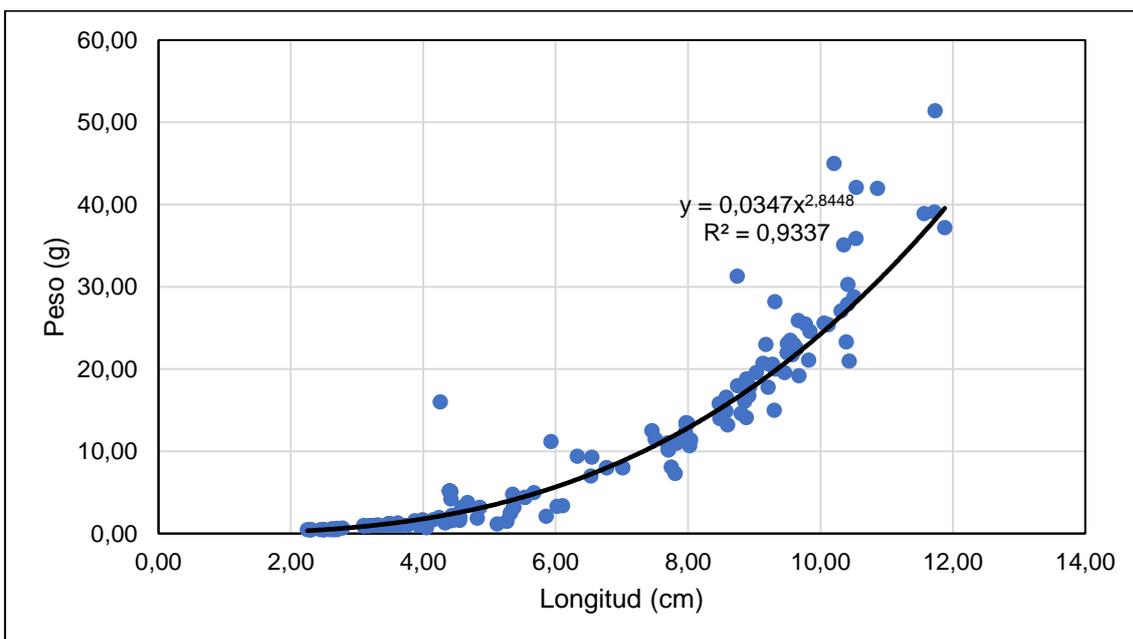


Figura 7.65. Relación alométrica entre los valores de longitud (cm) y peso (g) para camarones hembras y juveniles

El factor de condición se obtuvo por separado en base al modelo alométrico para machos (Figura 7.66) y hembras – juveniles (Figura 7.67). Para el caso de los machos (Figura 7.66), la zona II mostró una mediana superior a la zona I y a la zona III, observando que muchos de los registros más altos están presentes en esta zona. Sin embargo, la zona III presentó una mayor media en comparación con la zona II y la zona I. Los registros más bajos estuvieron presentes en la zona II y en la zona III (<1,60), sin embargo, en la zona I estuvieron presentes registros por encima de 2,00.

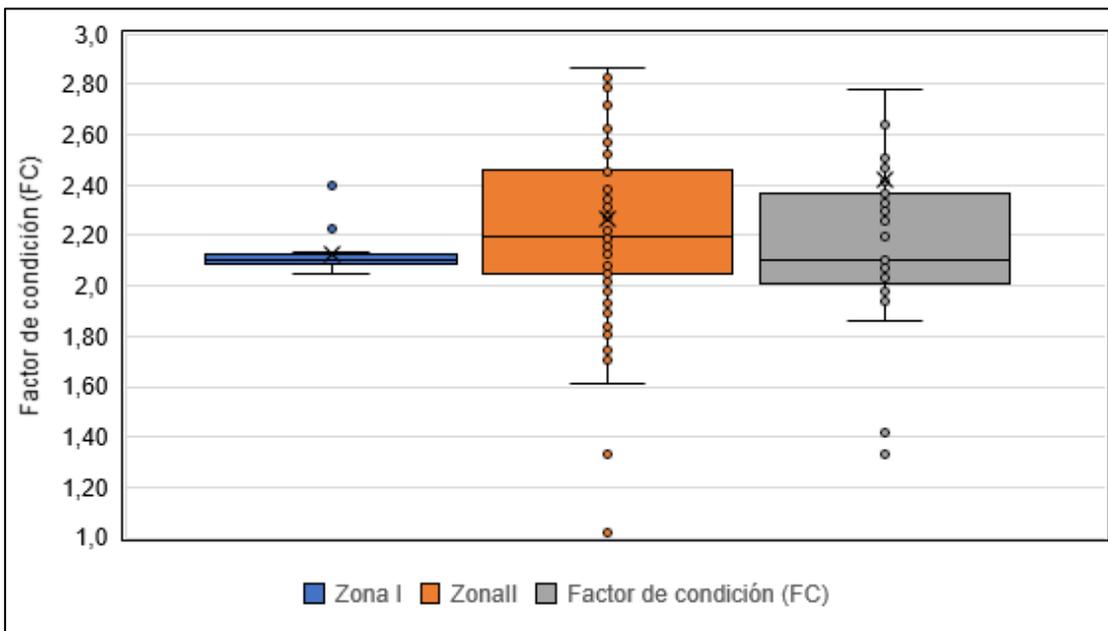


Figura 7.66. Gráfico de cajas para el factor de condición (FC) de machos

Para el caso de las hembras y juveniles (Figura 7.67), la zona II (zona de caudal reducido) presentó una media y mediana superior a la zona III. Muchos de los registros más altos fueron encontrados en la zona II (>6,00), sin embargo, muchos de los registros más bajos también (<2,00). La zona I solo presentó un registro, muy cercano a la mediana de la zona II.

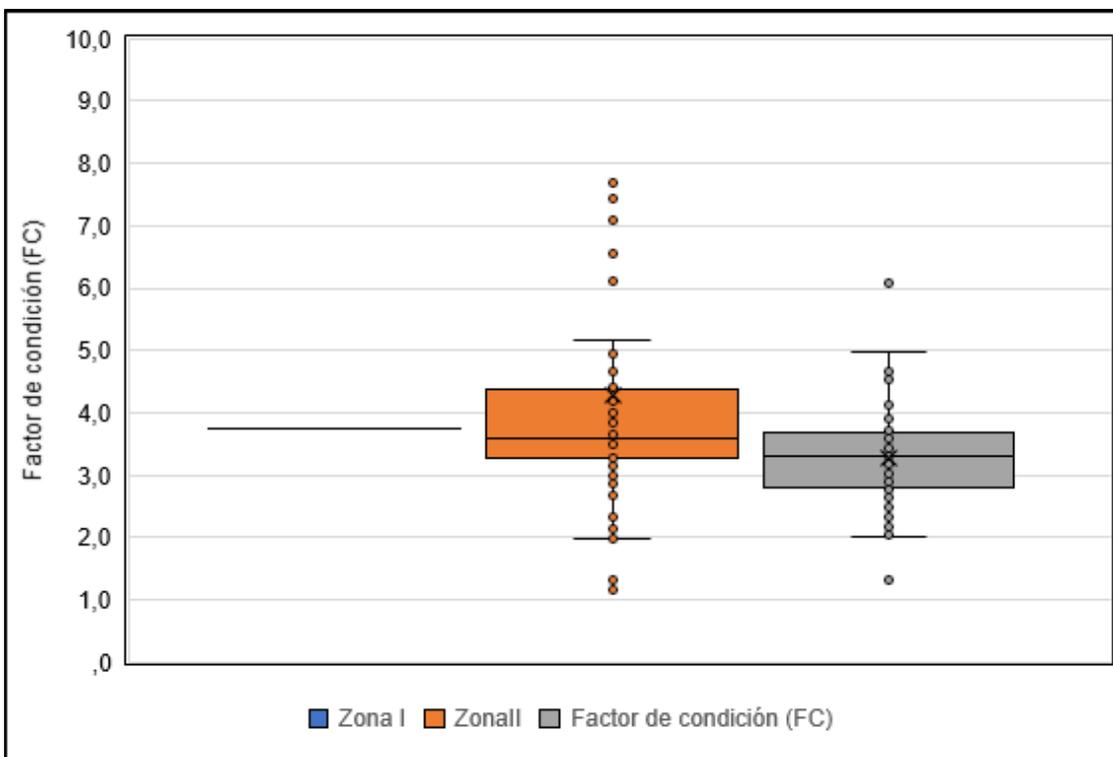


Figura 7.67. Gráfico de cajas para el factor de condición (FC) de hembras y juveniles

7.3.4.3 Aspectos poblacionales

La cantidad de individuos por sexo (macho y hembra) y estadio (juvenil), ordenados por zonas y temporadas se encuentra en la Figura (7.68). La zona II (zona de caudal reducido) posee una mayor cantidad de machos en todas las temporadas. Las hembras estuvieron en mayor cantidad en la zona II durante de setiembre de 2019, mientras que en junio de 2019 no se capturaron. En julio de 2019, la mayor cantidad de hembras fue encontrada en la zona III y en octubre de 2019, estuvieron en abundancia semejante entre la zona II y III. Los juveniles estuvieron presentes durante los meses de julio, setiembre y octubre, encontrándose en mayor cantidad en la zona III para los meses de julio y setiembre. Durante octubre, la cantidad de juveniles fue similar entre las zonas II y III.

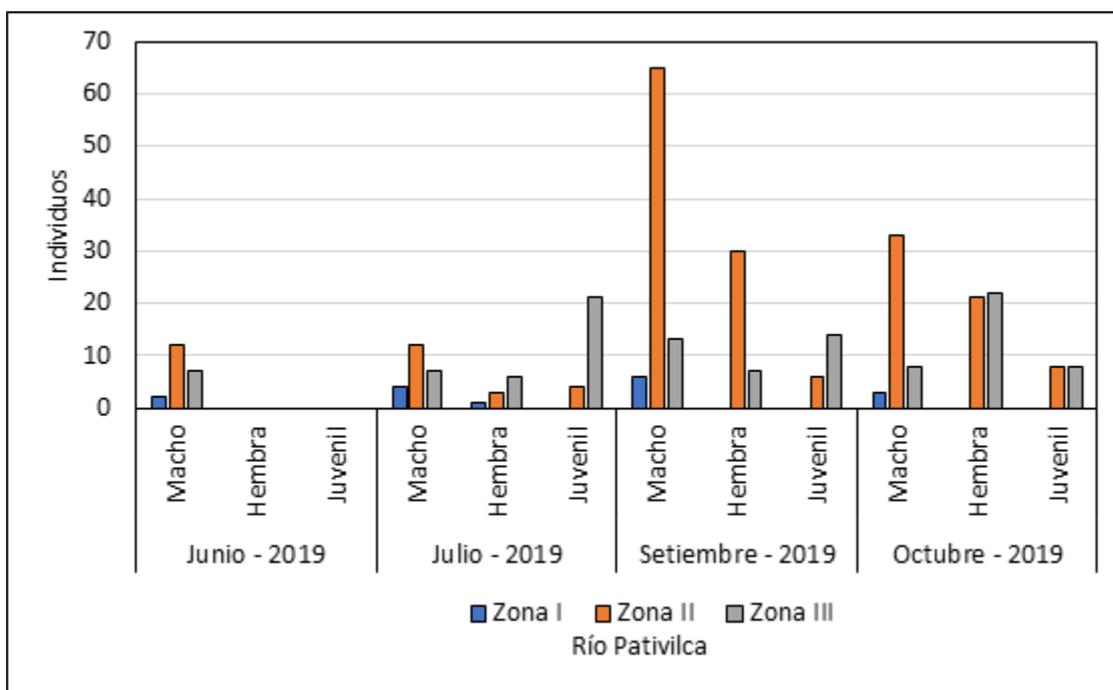


Figura 7.68. Distribución de abundancias de machos, hembras y juveniles por zonas y temporadas

7.3.5 Peces

En el muestreo realizado en las 3 zonas del río Pativilca, se identificaron 3 especies, agrupadas en 3 familias y 3 órdenes. Todas las especies registradas son nativas y la especie más abundante fue *Basilichthys semotilus* con 326 individuos representando el 72 % del total de individuos; además, en la zona II se registró la mayor cantidad con 291 individuos (Tabla 7.21).

Tabla 7.21. Composición taxonómica de peces en un sector del río Pativilca

N°	Orden	Familia	Especies	Zona I	Zona II	Zona III	Ab	Ab (%)
1	Atheriniformes	Atherinopsidae	<i>Basilichthys semotilus, cope 1874</i>	19	291	16	326	72
2	Siluriformes	Trichomycteridae	<i>Trichomycterus sp.</i>	5	80	33	118	26
3	Characiformes	Lebiasinidae	<i>Lebiasina bimaculata</i>	-	9	-	9	2
Total				24	380	49	453	100

(-): No registrado
Ab: Abundancia.

En los ambientes acuáticos, los peces ocupan un importante lugar en la cadena trófica, pues consumen una gran variedad de presas y muestran gran cantidad de hábitos



alimentarios; dependiendo su supervivencia, crecimiento y reproducción de la energía y los nutrientes de su alimento (Lampert y Sommer, 2008). Es así como es importante conocer a las especies registradas en este estudio.

- ***Trichomycterus* sp.**

Es un bagre de agua dulce de hábitos bentopelágicos, endémico de los ríos de la vertiente occidental del territorio peruano. El género *Trichomycterus* es oportunista, no presenta una activa selección de los ítems consumidos y al parecer tiende a consumir los macroinvertebrados que están más disponibles en el ambiente (Figura 7.69).



Figura 7.69. Ejemplar de *Trichomycterus* sp.

En la Tabla 7.22 se presenta la frecuencia de *Trichomycterus* sp. en base a la longitud total (Lt) de los ejemplares capturados. De acuerdo Chura-Cruz *et al.*, 2018 la longitud promedio de primera madurez sexual para hembras se estimó en 12,1 cm de longitud total, respectivamente. De acuerdo con ello, se asocia que en las 3 zonas evaluadas los ejemplares capturados representan una población de juveniles y adultos; sin embargo, se aprecia que en la zona II los ejemplares tuvieron una distribución mayor desde 4,81 cm hasta 19,05 cm.

Tabla 7.22. Frecuencia de *Trichomycterus* sp. en las 3 zonas del río Pativilca

Zona	Linf	Lsup	mi	ni	Ni	fi	Fi
Zona I	10,64	11,75	11,19	3	3	0,6	0,6
	11,75	12,85	12,30	2	5	0,4	1
Zona II	4,81	8,37	6,59	4	4	0,05	0,05
	8,37	11,93	10,15	18	22	0,23	0,28
	11,93	15,49	13,71	48	70	0,60	0,88
	15,49	19,05	17,27	10	80	0,13	1,00
Zona III	10,56	12,31	11,43	19	19	0,58	0,58
	12,31	14,07	13,19	10	29	0,30	0,88
	14,07	15,82	14,94	4	33	0,12	1,00
	15,82	17,57	16,70	0	33	0,00	1,00

Linf: Límite inferior, Lsup: Límite superior, mi: Marca de clase, ni: Frecuencia absoluta, Ni: Frecuencia absoluta acumulada, fi: Frecuencia relativa y Fi: Frecuencia relativa acumulada.

En la Figura 7.70 se observa gráficamente que la distribución de tallas de *Trichomycterus* sp. fue mayor en la zona II, registrándose 48 individuos en el rango de 11,93 cm hasta 15,49 cm.

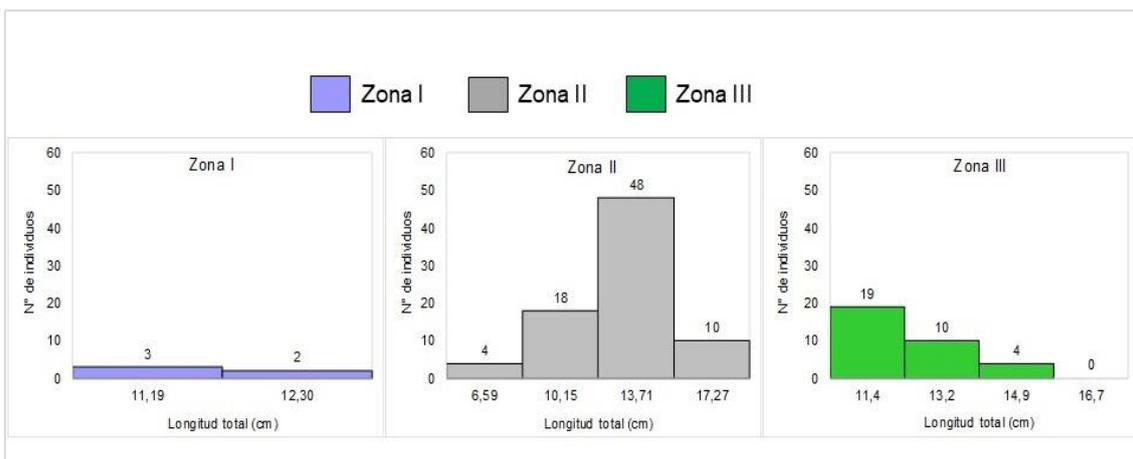


Figura 7.70. Histograma de tallas de *Trichomycterus* sp.

- ***Basilichthys semotilus***

La especie comúnmente es llamada pejerrey de río o pejerrey andino; sus características descriptivas son la presencia de las escamas dorsales de la región interorbital de la cabeza con imbricación invertida, 4 hileras de escamas en la subocular, 3 hileras de dientes mandibulares y la primera aleta dorsal reducida. Se distingue por presentar una banda oscura, plateada en su borde inferior y verde azulado en el superior, el dorso es oscuro y blanco ventralmente (Dyer, 2006). Esta especie se localiza por debajo de los 2000 m s. n. m. (Reis y Lima, 2009; Ortega *et al.*, 2012). En estudios realizados por Muñoz, 2017 de poblaciones en el río Chillón, determinó que Ephemeroptera fue el orden de mayor importancia; mientras que, Diptera, Trichoptera, Lepidoptera y Odonata, fueron las categorías de menor importancia e incidentales y, de acuerdo con la distribución de tallas se observó que todos los individuos presentaron preferencias por el consumo de insectos; sin embargo, con la estacionalidad no se evidenció una diferencia significativa (Figura 7.69)



Figura 7.71. Ejemplar de *Basilichthys semotilus*

En la Tabla 7.23 se presenta la frecuencia de *Basilichthys semotilus* en base a la longitud total (Lt) de los ejemplares capturados en cada una de las zonas evaluadas. En otros estudios de especies que están dentro del mismo grupo reportaron que la talla de primera madurez 24,44 cm de longitud total.

En la zona I, zona II y zona III la distribución de tallas varió de 5,16 cm hasta 13,98 cm; 5,13 cm hasta 35,75 cm y 5,01 cm hasta 15,52 cm, respectivamente. Es importante indicar que en la zona II, se registraron 289 individuos en el rango de 5,13 cm hasta 12,79, siendo este un valor alto de abundancia.



Tabla 7.23. Frecuencia de *Basilichthys semotilus* en las 3 zonas del río Pativilca

Zona	Linf	Lsup	mi	ni	Ni	fi	Fi
Zona I	5,16	8,10	6,63	8	8	0,42	0,42
	8,10	11,04	9,57	6	14	0,32	0,74
	11,04	13,98	12,51	5	19	0,26	1,00
Zona II	5,13	12,79	8,96	289	289	1,00	1,00
	12,79	20,44	16,61	0	289	0,00	1,00
	20,44	28,09	24,27	0	289	0,00	1,00
	28,09	35,75	31,92	1	290	0,00	1,00
Zona III	5,01	8,51	6,76	5,00	5,00	0,31	0,31
	8,51	12,02	10,27	10,00	15,00	0,63	0,94
	12,02	15,52	13,77	1,00	16,00	0,06	1,00

Linf: Límite inferior, Lsup: Límite superior, mi: Marca de clase, ni: Frecuencia absoluta, Ni: Frecuencia absoluta acumulada, fi: Frecuencia relativa y Fi: Frecuencia relativa acumulada

En la Figura 7.72 se observa gráficamente que la distribución de tallas de *Basilichthys semotilus* fue mayor en la zona II, registrándose 48 individuos en el rango de 11,93 cm hasta 15,49 cm.

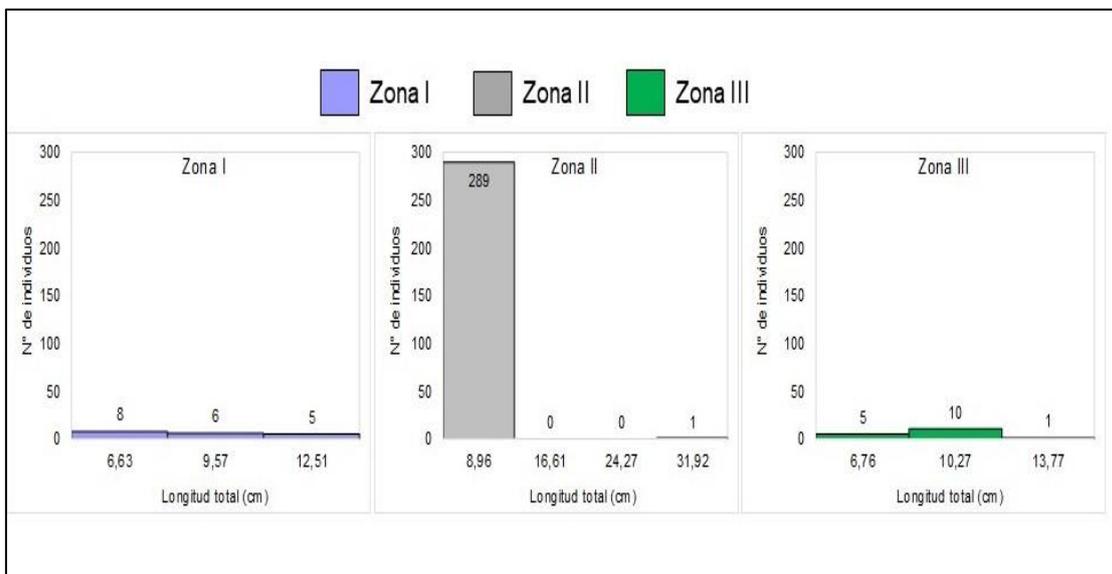


Figura 7.72. Histograma de tallas de *Basilichthys semotilus*

• **Lebiasina bimaculata**

Esta especie se encuentra en la vertiente occidental del Perú y Ecuador, desde el nivel del mar hasta 2240 m s. n. m. (Fowler, 1945) en el departamento de La Libertad se encuentra en los ríos Chicama, Moche y Virú hasta el río Santa en Anchash (Dávila, 1973). Son peces de cuerpo alargado, de forma cilíndrica y robusto, con aletas redondeadas. Presenta una franja gruesa desde la cabeza hasta la base de la aleta caudal. Su cuerpo cubierto de escamas grandes y oscuras, en la parte lateral las escamas presentan coloración anaranjada y en la parte ventral son blanquecinas. Se alimentan de larvas, insectos y algas (Castro, 1961).



Figura 7.73. Ejemplar de *Lebiasina bimaculata*

En la Tabla 7.24 se presenta la frecuencia de *Lebiasina bimaculata* en base a la longitud total (Lt) de los ejemplares capturados en cada una de las zonas evaluadas. Es preciso indicar que esta especie solo estuvo presente en la zona II de caudal reducido. La distribución de tallas varió de 4,0 cm hasta 11,13 cm. Es importante indicar que en la zona II, a pesar de registrarse una mayor distribución de tallas, no se registraron individuos en ese rango; pero si fue bastante abundante la presencia de esta especie con 289 individuos. Por tanto, la población estaría conformada en su mayoría por juveniles.

Tabla 7.24. Frecuencia de *Lebiasina bimaculata* en la zona II del río Pativilca

N°	Linf	Lsup	mi	ni	Ni	fi	Fi
1	4,0	7,58	5,8	4	4	0,4	0,4
2	7,6	11,13	9,4	5	9	0,6	1,0

Linf: Límite inferior, Lsup: Límite superior, mi: Marca de clase, ni: Frecuencia absoluta, Ni: Frecuencia absoluta acumulada, fi: Frecuencia relativa y Fi: Frecuencia relativa acumulada

7.4 Caudal ecológico

Los datos de las unidades hidromorfológicas (UHM) obtenidos por cada zona y por cada temporada se encuentran en el Anexo 15. A continuación, se presenta, la comparación de los aspectos fisicoquímicos e hidromorfológicos entre zonas y temporadas, así como una integración de estas variables para explicar posibles cambios temporales y espaciales (ítem 7.4.3). Finalmente, el modelo de hábitat fluvial para *Cryphiops caementarius*.

7.4.1 Parámetros fisicoquímicos

La temperatura mostró mayor variabilidad y media para el tramo de caudal reducido (zona II) en los meses de julio, setiembre y octubre de 2019 (Figura 7.74). Una comparación de los valores promedios de temperatura en relación con el caudal encontrado (Figura 7.75) mostró que existe una tendencia a un incremento de la temperatura cuando el tramo tiene valores de caudales bajos (<5m³/s). Por otro lado, una disminución de la temperatura se observó en tramos con caudales altos (>10m³/s). El mes de junio de 2019 fue la única temporada con que no cumplió con la tendencia, a pesar de tener un valor de caudal bajo. Los valores promedios de la temperatura y del caudal registrado por zonas y temporadas se encuentra en la Tabla 7.25.



«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad»

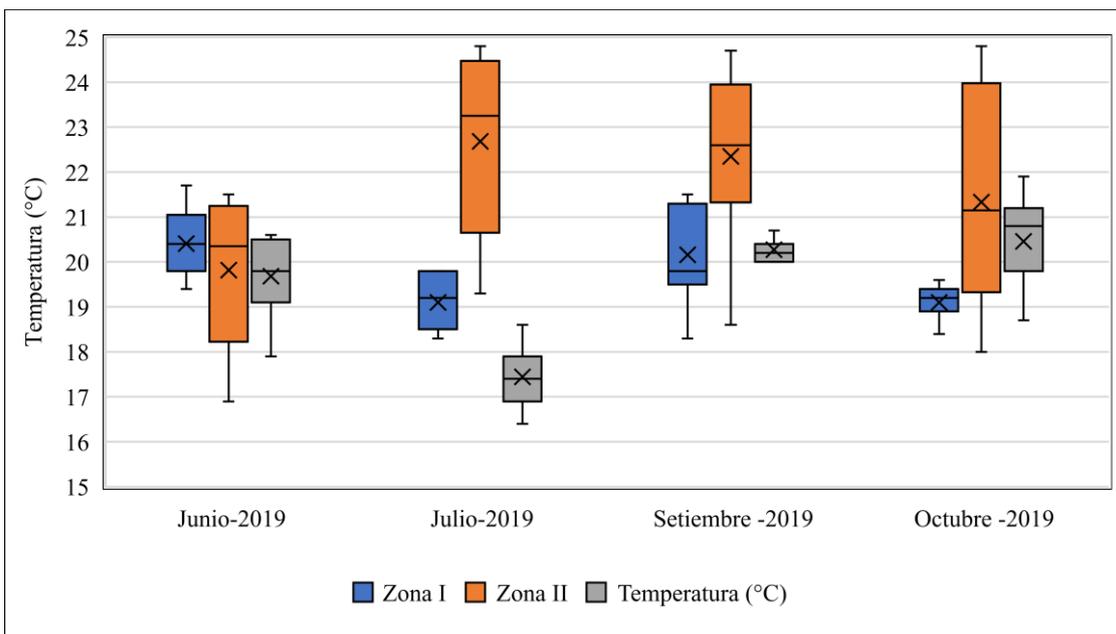


Figura 7.74. Diagrama de cajas para la temperatura por cada zona y temporada

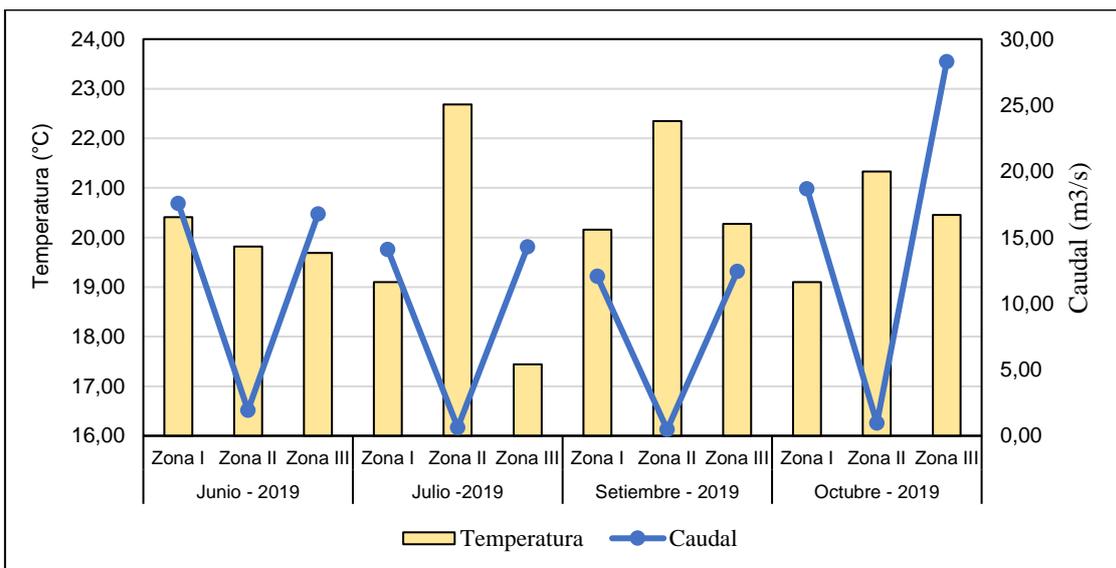


Figura 7.75. Temperatura vs gráfico lineal para el caudal por cada zona y temporada

Tabla 7.25. Valores promedios de caudal y temperatura

Temporada	Zona	Caudal (m³/s)	Temperatura (°C)
Junio	Zona I	17,58	20,41
	Zona II	1,93	19,82
	Zona III	16,77	19,69
Julio	Zona I	14,08	19,10
	Zona II	0,63	22,68
	Zona III	14,30	17,44
Setiembre	Zona I	12,05	20,16
	Zona II	0,48	22,35
	Zona III	12,43	20,27
Octubre	Zona I	18,67	19,10
	Zona II	0,96	21,33
	Zona III	28,29	20,46



Los valores de pH (Figura 7.76) tuvieron un comportamiento diferente por temporadas. Sin embargo, un patrón que se repite en las temporadas es la variabilidad que muestra la zona de caudal reducido (zona II). Para todas las temporadas, la zona II presentó una mayor variabilidad en comparación con las zonas I y III. Todos los registros de pH fueron alcalinos, con un rango que varió entre 7,62 unidades de pH y 8,92 unidades de pH.

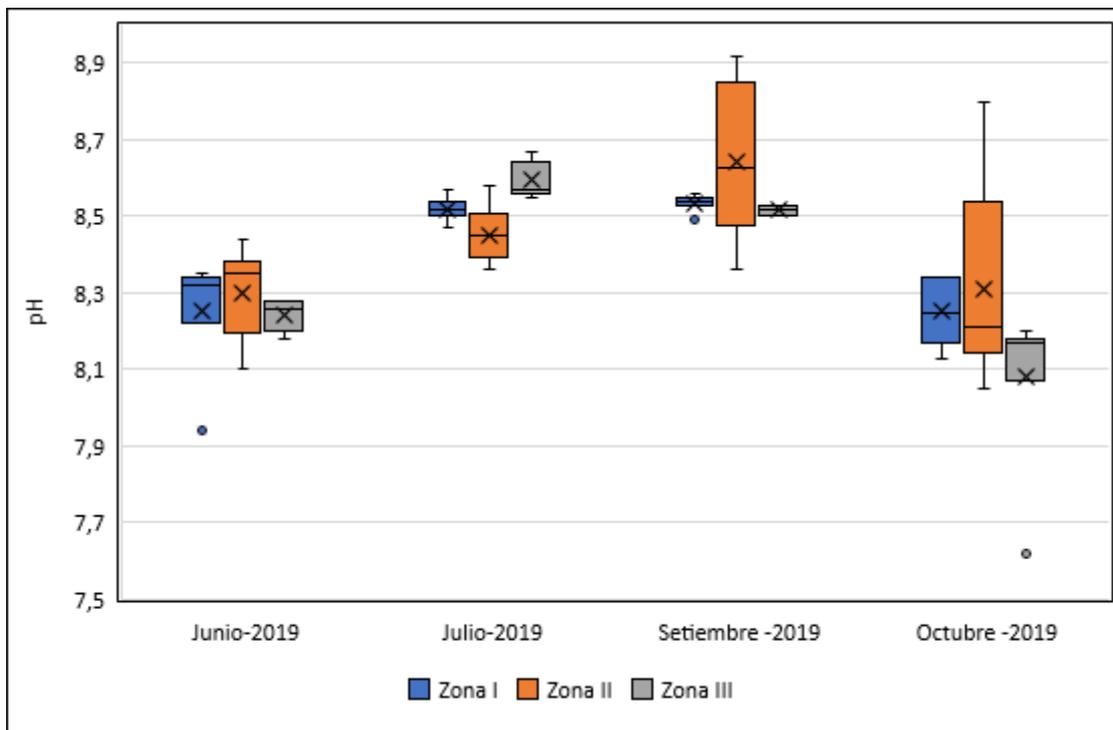


Figura 7.76. Diagrama cajas para el pH por zonas y temporadas

La conductividad eléctrica mostró un valor de la media de la zona II mayor que la zona I y III, siendo esta tendencia más marcada en los meses de julio, setiembre y octubre de 2019 (Figura 7.77).

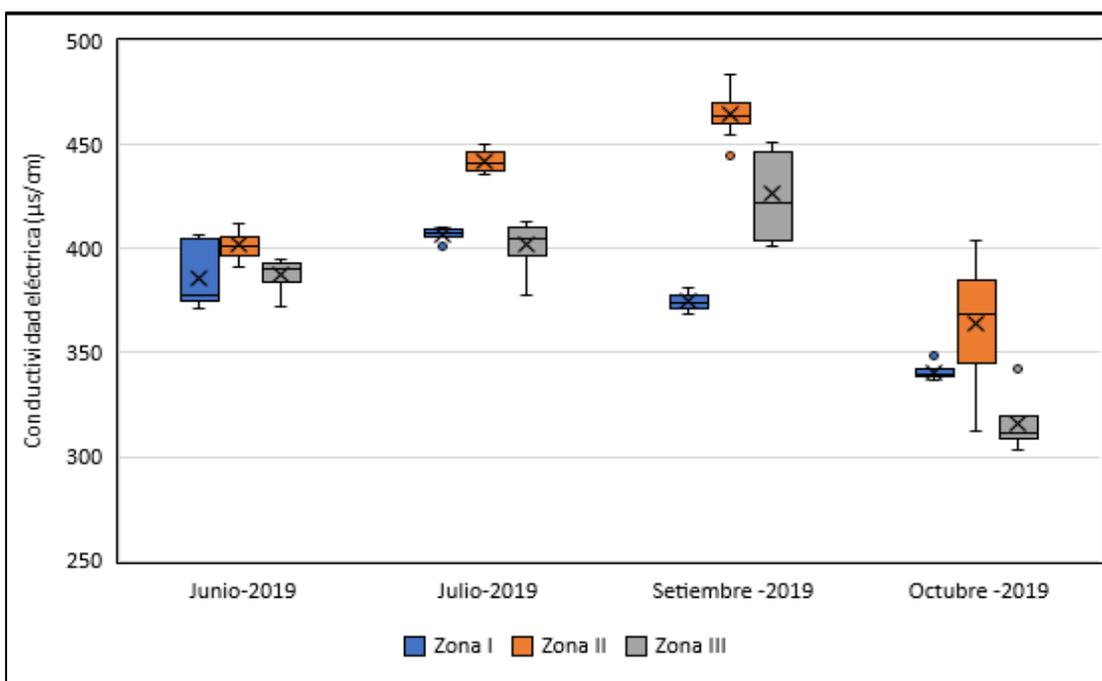


Figura 7.77. Diagrama de cajas para la conductividad eléctrica por zonas y temporadas

Los valores de oxígeno disuelto (Figura 7.78) mostraron en junio de 2019, un mayor valor de la media de la zona III, seguido por la zona II y finalmente, la zona I. En julio de 2019 la zona I y II tuvieron un rango similar, con una media superior a la zona III. En setiembre de 2019, la media de la zona I fue mayor que la zona II y III. Finalmente, en octubre de 2019, el rango de oxígeno disuelto de las zonas I, II, III fue similar. Los valores atípicos fueron valores inferiores a 7 mg/L, encontrados en la zona III en setiembre y en la zona II y III en octubre.

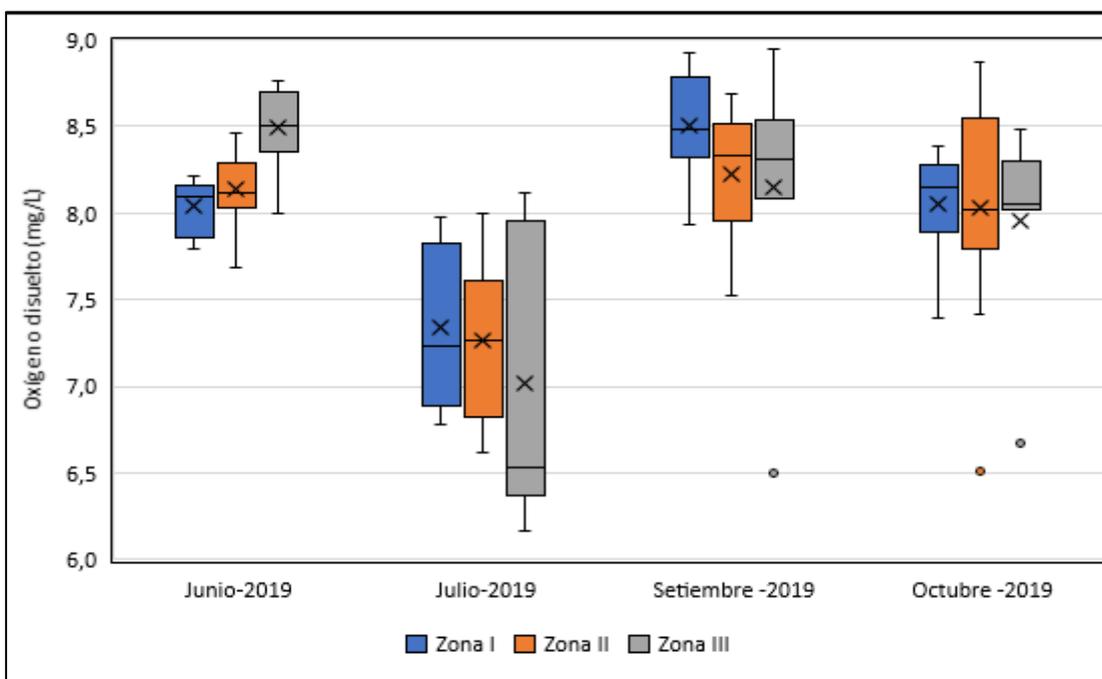


Figura 7.78. Diagrama de cajas para el oxígeno disuelto por zonas y temporadas



Los valores de alcalinidad (Figura 7.79) mostraron una mayor variabilidad en junio de 2019 con un rango entre 60 y 100 mg/CaCO₃. Para julio de 2019, la media de la zona I fue mayor que la zona II, seguida por la zona III. En setiembre de 2019, las medias tuvieron valores similares, con un valor atípico para la zona II, superior a los 100 mg/CaCO₃. Finalmente, en octubre de 2019 presentó una media de la zona I mayor que la zona II y III, un patrón similar encontrado en julio de 2019.

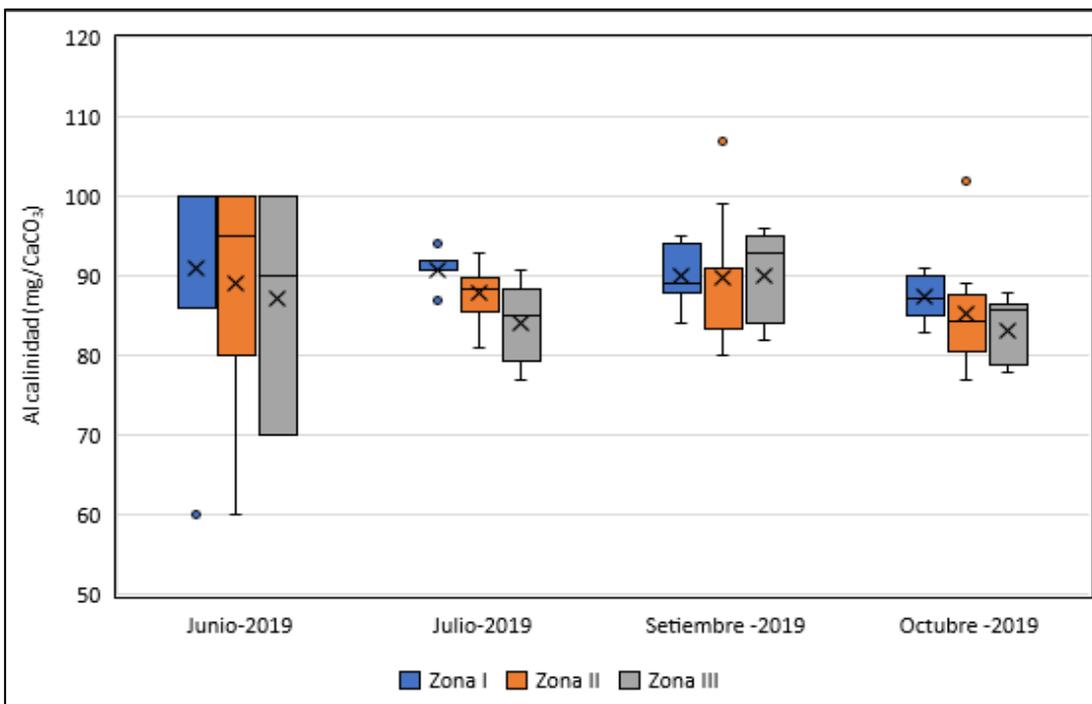


Figura 7.79. Diagrama de cajas de alcalinidad por zonas y temporadas

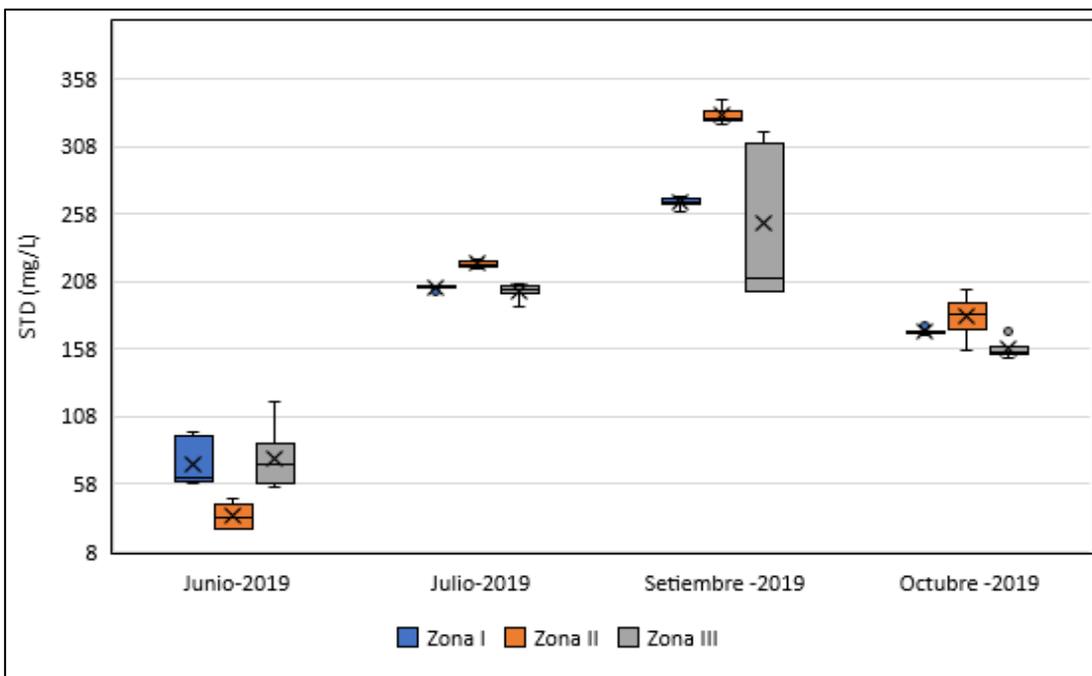


Figura 7.80. Diagrama de cajas para los sólidos totales disueltos (STD) por zonas y temporadas.



En junio de 2019, los sólidos totales suspendidos mostraron una tendencia similar entre las zonas, con una variabilidad muy baja. En julio de 2019, una mayor variabilidad fue presentada en la zona II, a diferencia de las zonas I y III. En setiembre de 2019, la media y mediana de los sólidos totales suspendidos fueron menor que en las zonas I y III. En octubre de 2019, los sólidos totales suspendidos tuvieron una magnitud mucho mayor en la zona III, alcanzando los registros más altos de todas las temporadas (Figura 8.81).

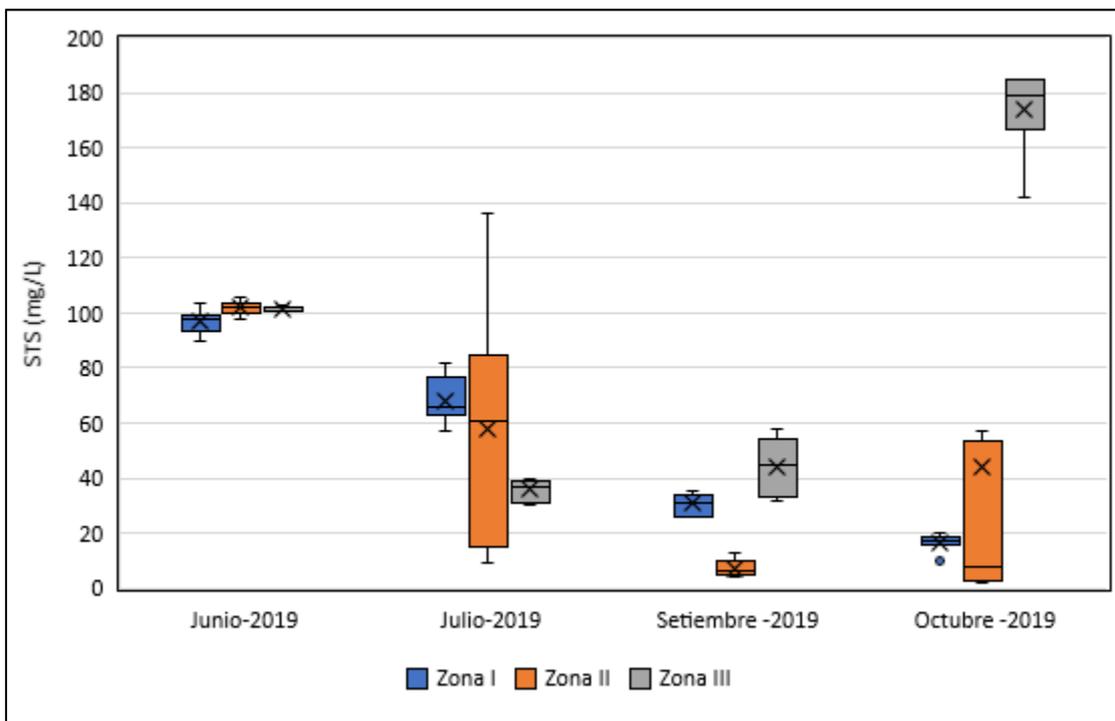


Figura 7.81. Diagrama de cajas para los sólidos totales suspendidos por zonas y temporadas

Los valores de turbidez (Figura 8.82) mostraron registros más bajos en la zona de caudal reducido (zona II) para junio y setiembre de 2019. En julio de 2019, la media de la zona I fue mayor que la zona II, sin embargo, la zona II presentó una media superior a la zona III. Un escenario diferente ocurrió en octubre de 2019, con una media mayor en la zona III, seguida por la zona II y finalmente, la zona I. La turbidez está asociada a los sólidos en suspensión. En la Figura 8.83, se muestra la correlación positiva que existe entre estas, con un R^2 de 0,799.

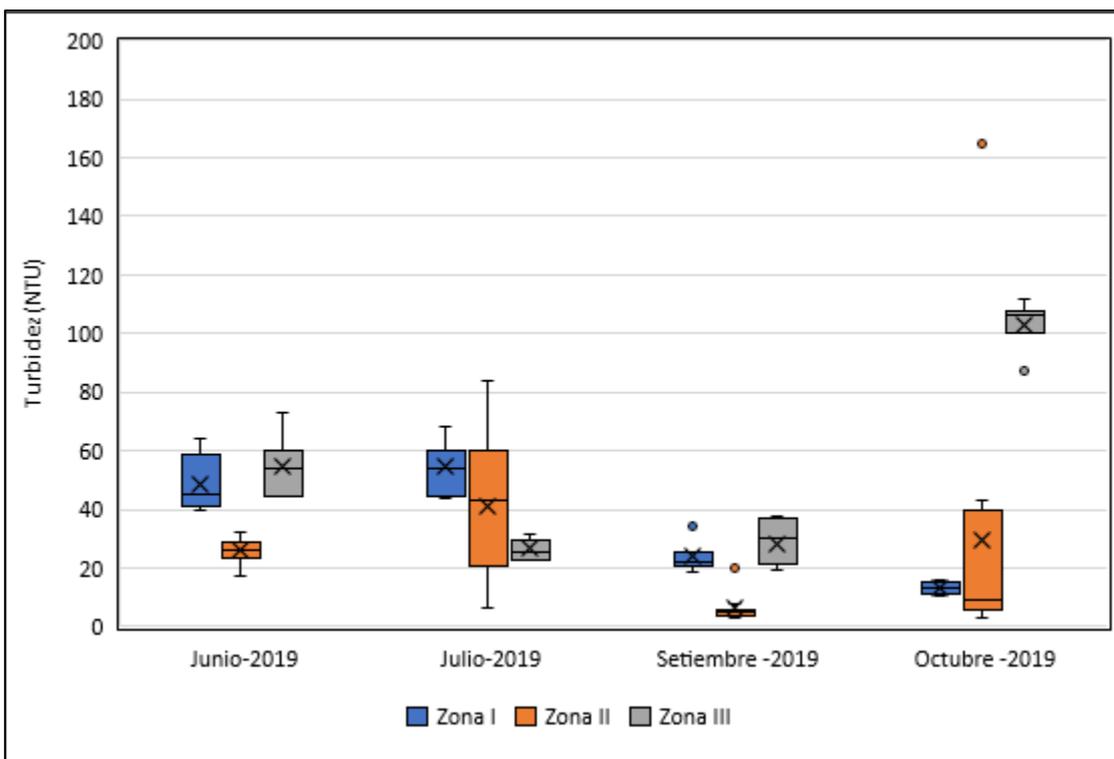


Figura 7.82. Diagrama de cajas para la turbidez por zonas y temporadas

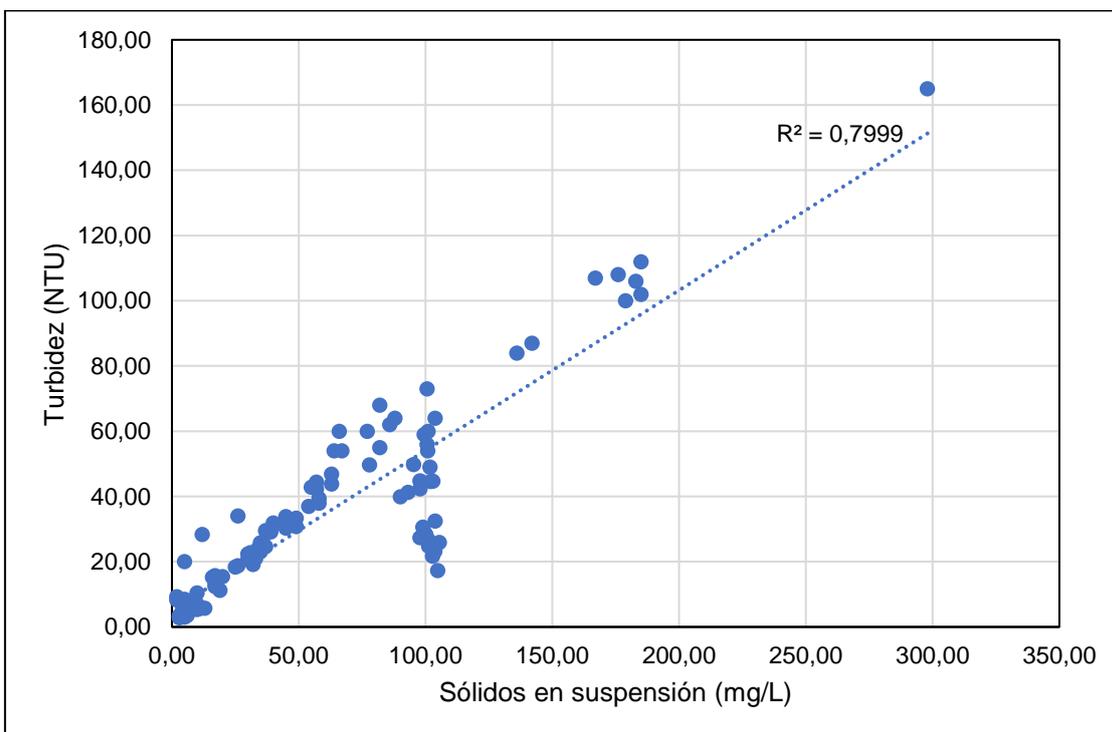


Figura 7.83. Regresión entre sólidos en suspensión y turbidez



7.4.2 Hidromorfología

a. Profundidad

La profundidad mostró registros bajos (<0,50 m) para la zona de caudal reducido (zona II) en todas las temporadas. Los registros más altos estuvieron presentes en la zona de control (zona I) y la zona de influencia (zona III) (Figura 8.84).

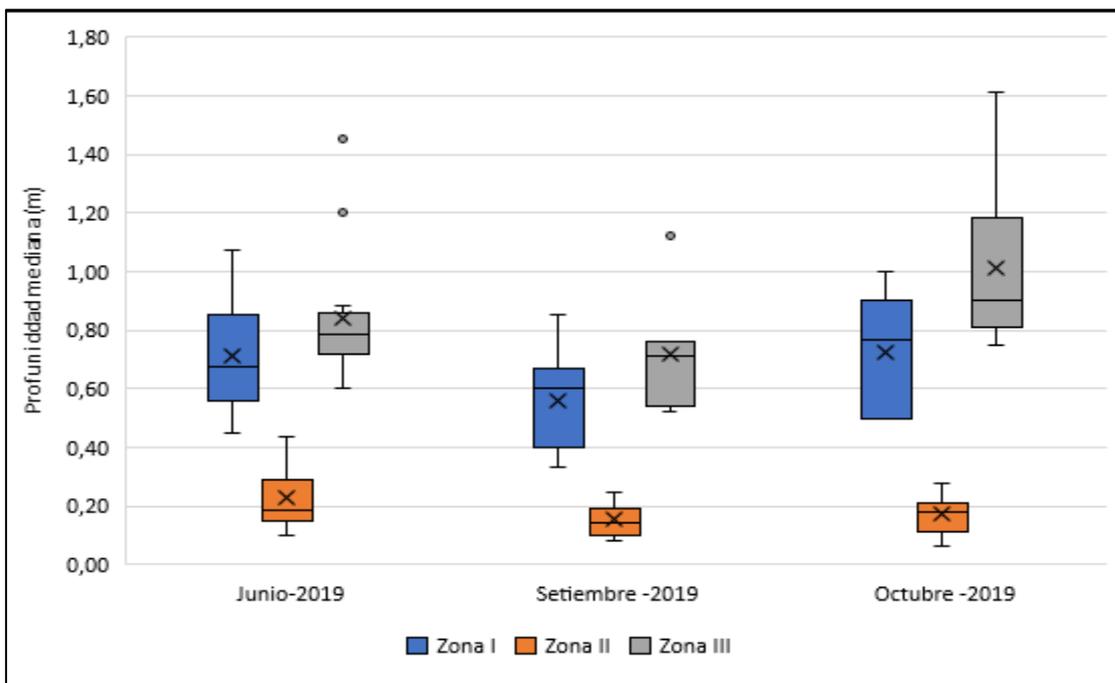


Figura 7.84. Diagrama de cajas para la mediana de la profundidad por zonas y temporadas

b. Ancho mojado promedio

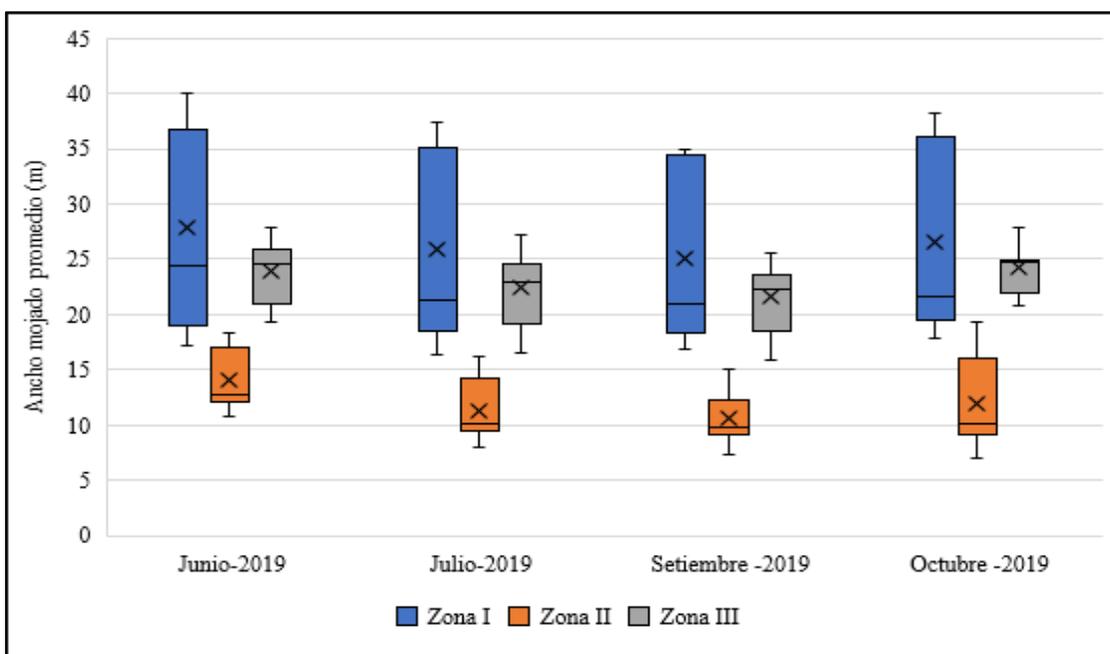


Figura 7.85. Diagrama de cajas para el ancho promedio por zonas y temporadas



El ancho promedio mostró un patrón similar al encontrado en la profundidad. La zona de caudal reducido (zona II) mostraron un ancho mojado promedio menor en comparación con la zona I y III (Figura 7.85). La Figura 7.86 muestra la clara relación entre el caudal y el ancho mojado, es evidente una reducción del ancho mojado ante menores valores de caudal. Los valores promedios del ancho mojado y de la velocidad se encuentra en la Tabla 7.26

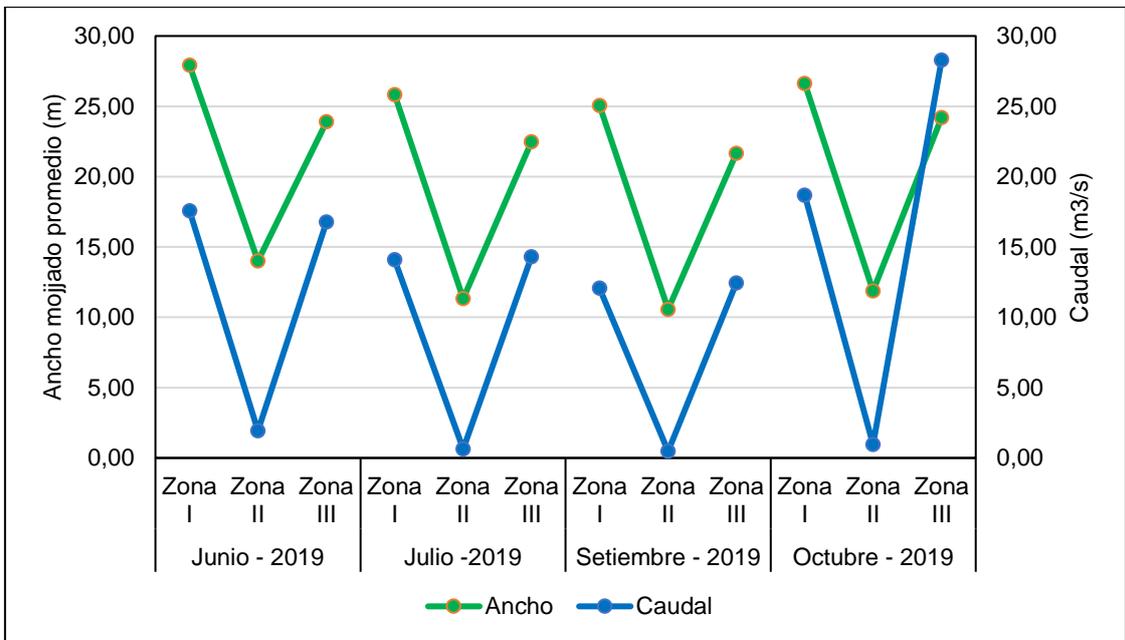


Figura 7.86. Comparación entre los valores de caudal y el ancho mojado promedio

c. Velocidad

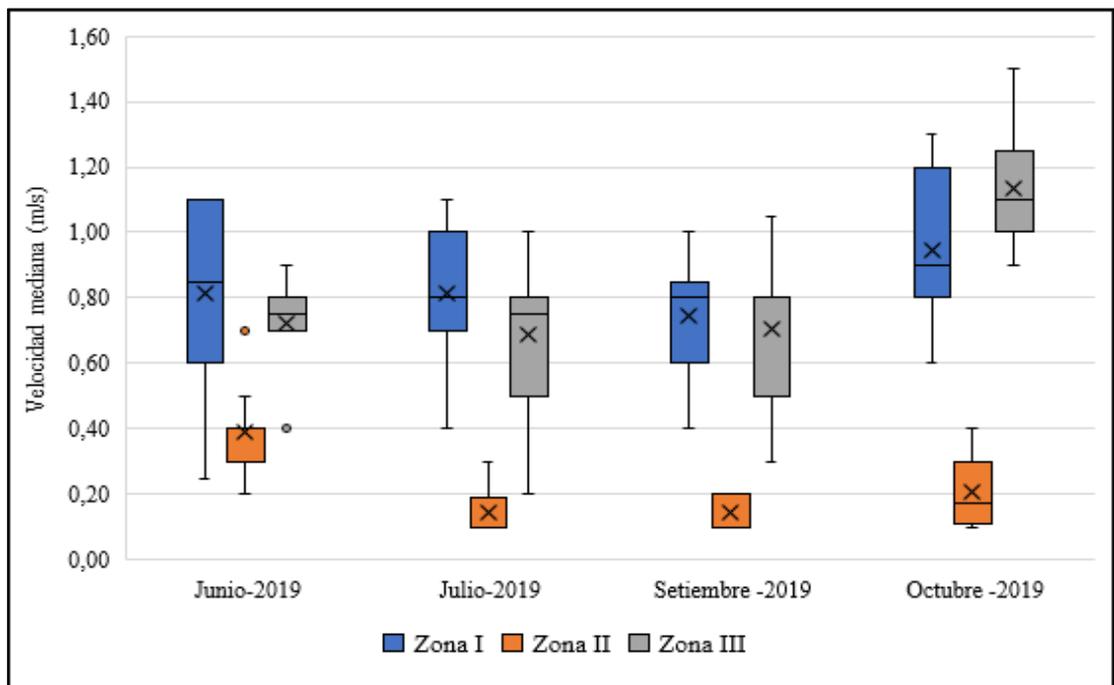


Figura 7.87. Diagrama de cajas de velocidad mediana por zonas y temporadas

La zona de caudal de reducido presentó registros de velocidad bajos (<0,60 m/s), en comparación con las zonas I y III. Este patrón se repite en todas las temporadas (Figura 7.87) Las zonas I y III presentaron una media por encima de 0,60 m/s. La Figura 7.88 muestra la relación del caudal con la velocidad promedio. Existe relación directamente proporcional entre esas variables, se puede notar como los valores bajos de caudal (zona II) presenta valores bajos de velocidad, al contrario de las zonas I y III con valores altos de velocidad.

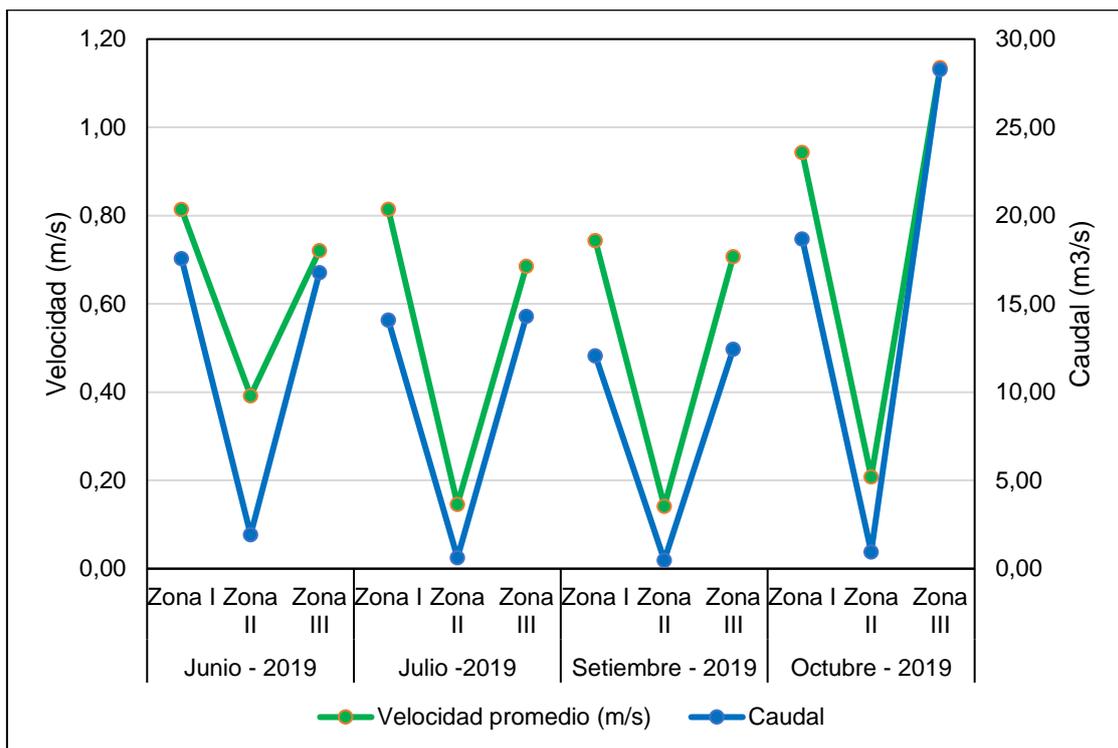


Figura 7.88. Comparación entre los valores de caudal y la velocidad

Tabla 7.26. Valores de caudal, ancho mojado promedio y velocidad promedio por zonas y temporadas

Temporada	Zona	Caudal (m³/s)	Ancho promedio (m)	Velocidad promedio (m/s)
Junio 2019	Zona I	17,58	27,91	0,81
	Zona II	1,93	14,00	0,39
	Zona III	16,77	23,90	0,72
Julio 2019	Zona I	14,08	25,83	0,81
	Zona II	0,63	11,33	0,15
	Zona III	14,30	22,47	0,69
Setiembre 2019	Zona I	12,05	25,06	0,74
	Zona II	0,48	10,57	0,14
	Zona III	12,43	21,66	0,71
Octubre 2019	Zona I	18,67	26,63	0,94
	Zona II	0,96	11,88	0,21
	Zona III	28,29	24,20	1,14

Fuente: Anexo 15, parámetros fisicoquímicos y de campo por UHM

**d. Unidades hidromorfológicas**

Las unidades hidromorfológicas (UHM) encontradas en la zona I fueron predominantemente corriente > 70% y en menor proporción fueron encontrados: corriente rápida, poza tras cascada y rápido medio. En la zona II, los tipos de UHM encontrados fueron diferentes: rápido medio, rápido bajo y cascada-poza; encontrándose en mayor proporción: rápido medio (junio) y rápido bajo (setiembre). Para la zona III, el UHM con mayor proporción fue corriente en las 4 temporadas.

Tabla 7.27. Cantidad y porcentaje de UHM encontrados por zona y por temporada

Temporada	Zona	UHM	Cantidad	Porcentaje
Junio	Zona I	Corriente	5	71,43
		Corriente rápida	2	28,57
	Zona II	Rápido medio	6	50,00
		Rápido bajo	1	8,33
		Cascada-poza	5	41,67
	Zona III	Corriente	4	57,14
		Corriente rápida	2	28,57
		Cascada-poza	1	14,29
	Julio	Zona I	Corriente	6
Poza tras cascada			1	14,29
Zona II		Rápido medio	4	33,33
		Rápido bajo	3	25,00
		Cascada-Poza	5	41,67
Zona III		Corriente	6	85,71
		Poza tras cascada	1	14,29
Setiembre	Zona I	Corriente	3	42,86
		Rápido medio	3	42,86
		Poza tras cascada	1	14,29
	Zona II	Rápido bajo	7	58,33
		Cascada-Poza	5	41,67
	Zona III	Corriente	4	57,14
		Rápido medio	1	14,29
		Poza tras cascada	2	28,57
Octubre	Zona I	Corriente	5	71,43
		Rápido medio	1	14,29
		Corriente rápida	1	14,29
	Zona II	Rápido bajo	4	33,33
		Rápido medio	3	25,00
		Cascada-Poza	5	41,67
	Zona III	Corriente	5	71,43
		Corriente rápida	1	14,29
		Poza tras cascada	1	14,29

e. Granulometría

En junio de 2019, la zona I tuvo una mayor composición de arena gruesa, seguida por canto rodado. Mientras que la zona II y III tuvieron una mayor composición de canto rodado (Figura 7.89).

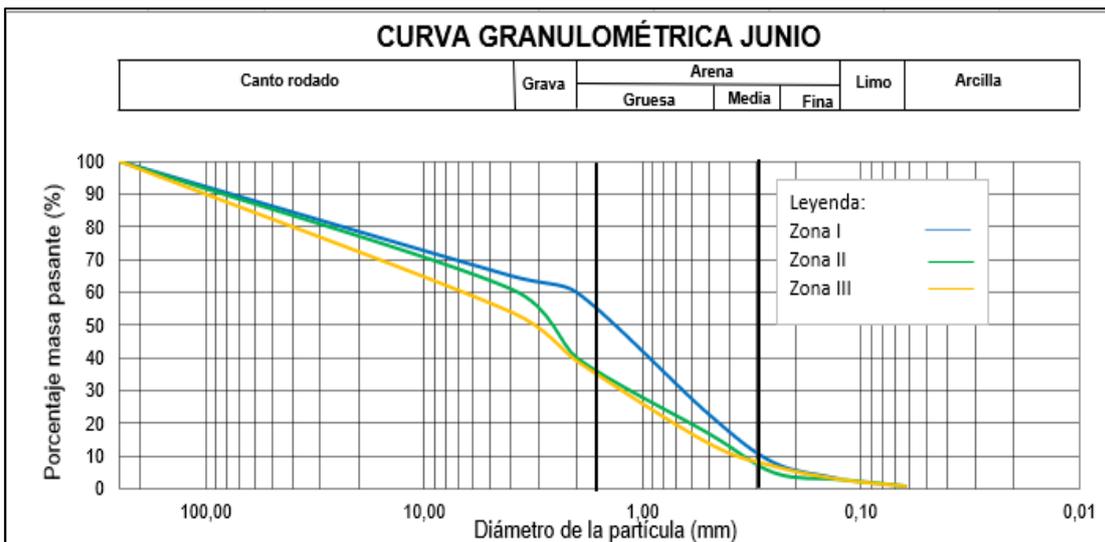


Figura 7.89. Composición granulométrica en junio 2019

En julio de 2019, la zona I tuvo una mayor composición de arena media y fina; mientras que, la zona II tuvo una mayor composición de grava seguido de canto rodado y la zona III tuvo una mayor composición de arena gruesa (Figura 7.90).

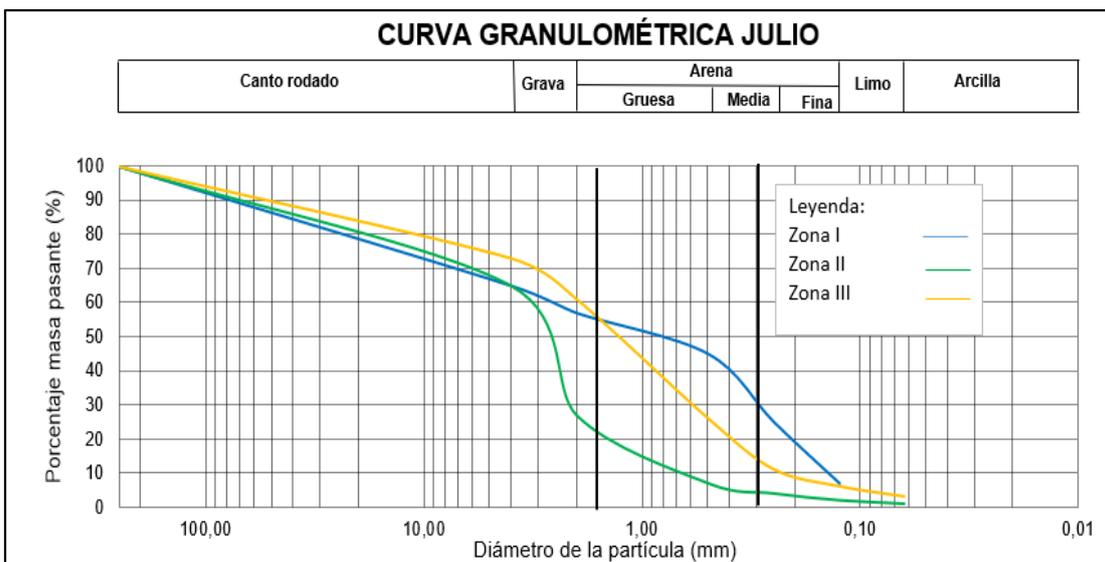
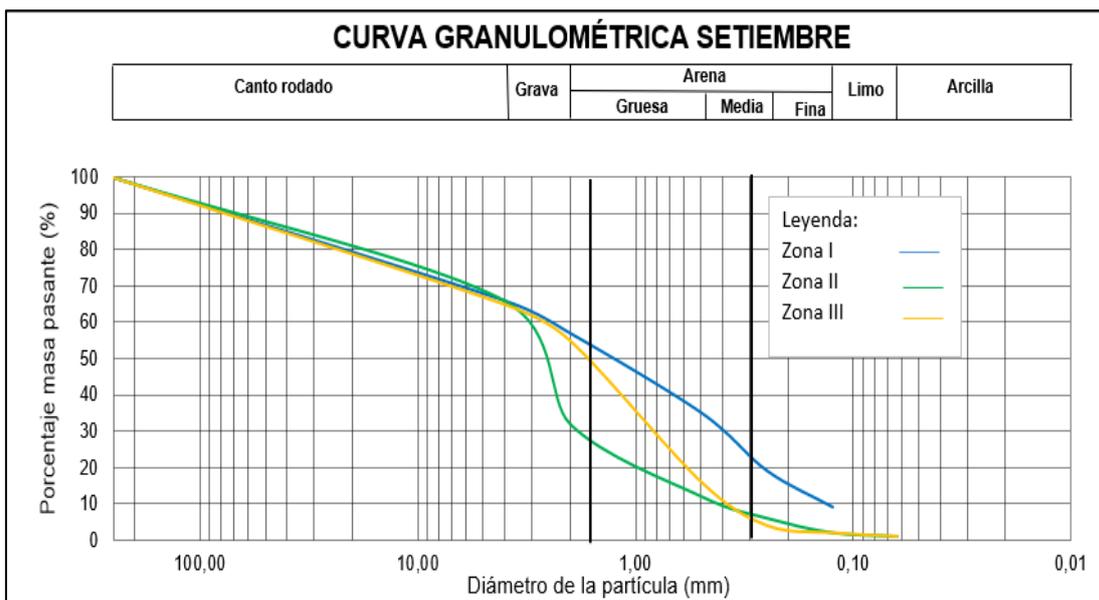
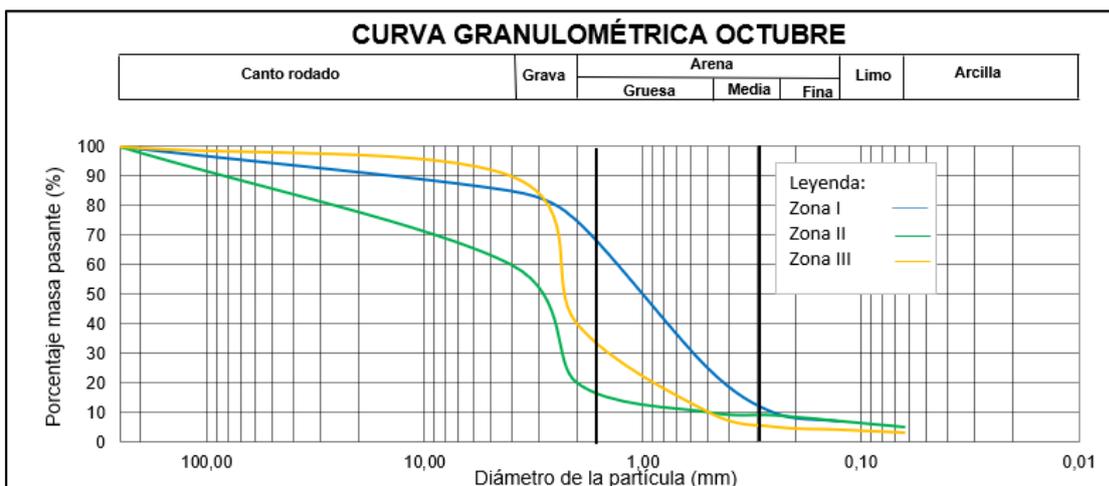


Figura 7.90. Composición granulométrica en julio 2019

En setiembre de 2019, la zona I tuvo una mayor composición de canto rodado grueso, la zona II tuvo una mayor composición de grava seguida por canto rodado. Finalmente, la zona III tuvo una mayor composición de arena gruesa (Figura 7.91).

En octubre de 2019, la zona I tuvo una mayor composición de arena gruesa, la zona II tuvo una mayor composición de grava seguido por canto rodado. Finalmente, la zona III tuvo una mayor composición de grava seguida por arena gruesa (Figura 7.92).


Figura 7.91. Composición granulométrica en setiembre 2019

Figura 7.92. Composición granulométrica en octubre 2019

f. Incrustamiento

Los resultados del incrustamiento se encuentran en la Tabla 7.27 y Figura 7.93. Para junio de 2019, el incrustamiento más abundante fue entre 10 % - 25 %, sin embargo, la zona III presentó algunos valores de incrustamiento por debajo del 10%. En julio de 2019, el incrustamiento más abundante volvió a ser el encontrado entre 10 % - 25 %, sin embargo, la presencia de un incrustamiento mayor (26 % - 50 %) apareció en la zona II. En setiembre, de 2019 la presencia del incrustamiento entre 26 % - 50 % estuvo presente en la zona I y zona III, siendo el más abundante en la zona II. En octubre de 2019, el incrustamiento entre 26 % -50 % apareció en la zona I y se mantuvo en la zona II, la zona III se mantuvo sin ese tipo de incrustamiento.

Tabla 7.28. Cantidad de cantos rodados encontrados de cada tipo de incrustamiento por zonas y temporadas

Temporadas	Zonas	Incrustamiento (<10 %)	Incrustamiento (10-25 %)	Incrustamiento (26-50 %)
Junio 2019	Zona I	-	7	-
	Zona II	-	12	-
	Zona III	3	4	-



«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad»

Table with 5 columns: Temporadas, Zonas, Incrustamiento (<10 %), Incrustamiento (10-25 %), Incrustamiento (26-50 %). Rows include data for July, September, and October 2019 across three zones.

(-): Sin registro de incrustamiento.

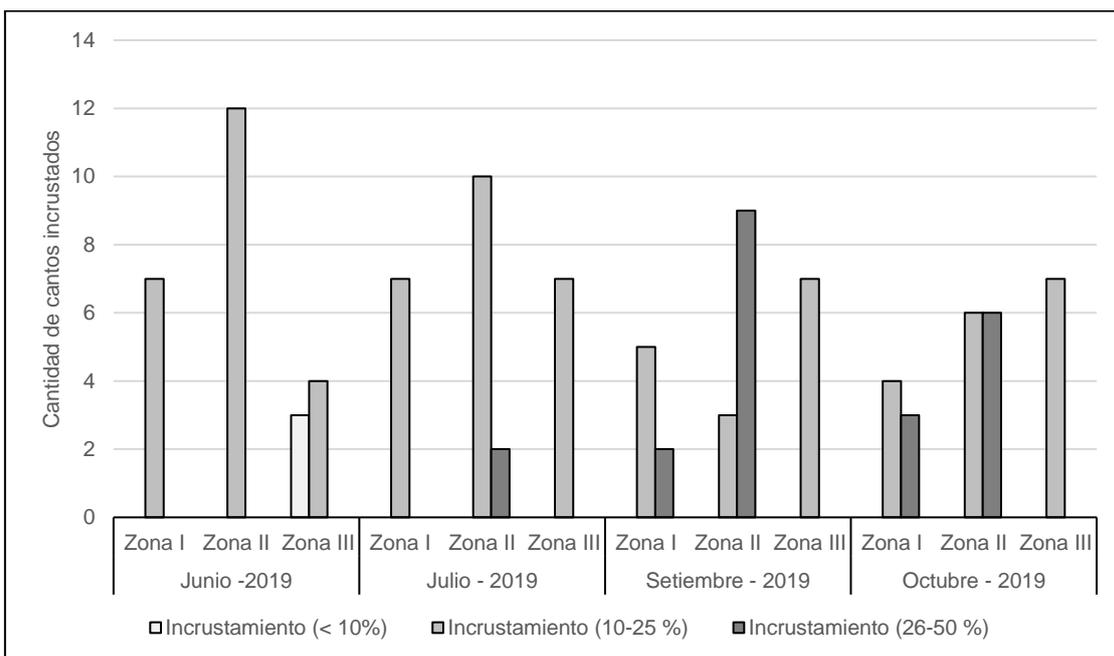


Figura 7.93. Registro de incrustamientos encontrados

7.4.3 Modelo de hábitat

A. Modelo de hábitat para Cryphiops caementarius en la zona I

Debido a la baja abundancia de Cryphiops caementarius en la zona I, solo fue posible realizar el modelo de hábitat para la presencia/ausencia de esta especie.

Se registró 85 variables de hábitat en los períodos de muestreo en junio, julio, setiembre y octubre 2019, siendo un total de 28 UHM evaluados (7UHM en cada mes evaluado). Del total de registros de Cryphiops caementarius 9 fueron positivos a la presencia de esta especie y 19 fueron negativos.

La función de preferencia se definió como:

g(x)=-2,342 + -0,1159(Anch)+-1,86138(VMdn)+-14,87402(ProfQ5) (7.1)

Donde:

Anch = ancho promedio

VMdn = velocidad mediana

ProfQ5 = percentil 5 de los valores de profundidad

Tabla 7.29. Modelo de hábitat para la presencia de Cryphiops caementarius en la zona I



Variable	Coefficiente Estimado	Razón de oportunidades	Probabilidad (%)
Intercepto	4,82412	-	-
AProm	-0,11590	0,890564275	-2,8975
VMed	-1,86138	0,15545795	-46,5345
ProfP5	-14,87402	0,00000035	-371,8505
Área bajo la Curva ROC (AUC)	0,8246	-	-
Cutoff	0,3571429	-	-

(-): No aplica para esta variable.

De acuerdo con la Tabla 7.29 cada disminución en un metro del ancho promedio de UHM, se tiene 0,89 veces más razón de oportunidades de que el *Cryphiops caementarius* esté presente. Del mismo modo, existirán 0,15 veces más razón de oportunidad que *Cryphiops caementarius* esté presente por cada m/s que disminuya la velocidad mediana. Para un mejor entendimiento del modelo, se dividió los coeficientes entre 4. Así, para un incremento en 1 m del ancho promedio de UHM, disminuye en 2,89 % la probabilidad de la ocurrencia de *Cryphiops caementarius*. A su vez, el aumento en 1 m/s de la velocidad mediana, reduce en 46 % la probabilidad de la presencia de *Cryphiops caementarius*. En el caso de ProfQ5, un incremento en 1 m reduce la probabilidad de presencia de *Cryphiops caementarius* en 371 % por ciento. La probabilidad de clasificación efectiva del modelo para la presencia de *Cryphiops caementarius* fue de 89 % (Figura 5.2).

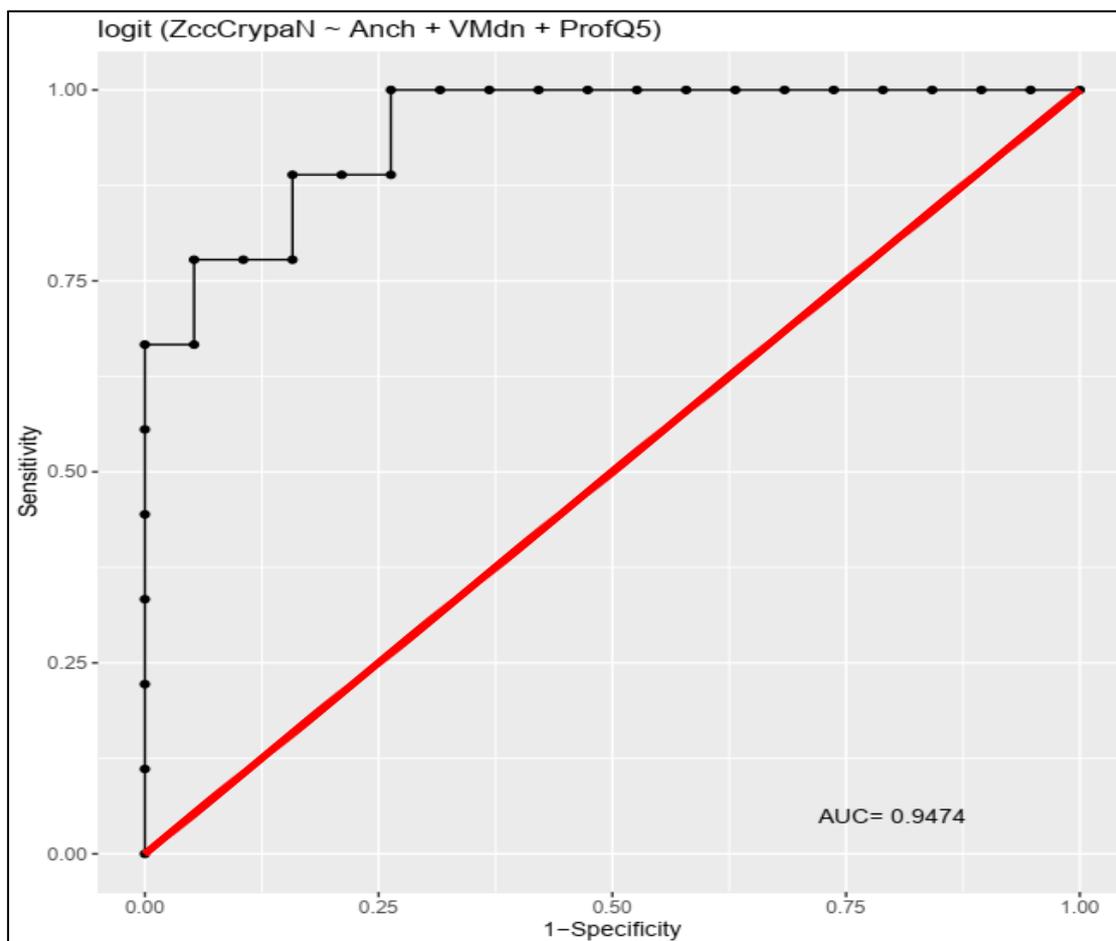


Figura 7.94. Curva ROC para el modelo de presencia de *Cryphiops caementarius* en la zona I

La clasificación mediante árboles de decisión seleccionó a la variable ProfQ5 para discriminar las UHM con presencia de *Cryphiops caementarius*. Así, según la clasificación obtenida, la presencia de esta especie, en cuanto a los datos obtenidos en el muestreo

biológico y el conjunto de variables de hábitat recabadas, ocurre cuando el percentil 5 de la profundidad es menor de 0,1 m en 71 % de los casos (Figura 7.94). Estos resultados son compatibles con los obtenidos en el modelo de habitabilidad resultado de la regresión logística (Tabla 7.30).

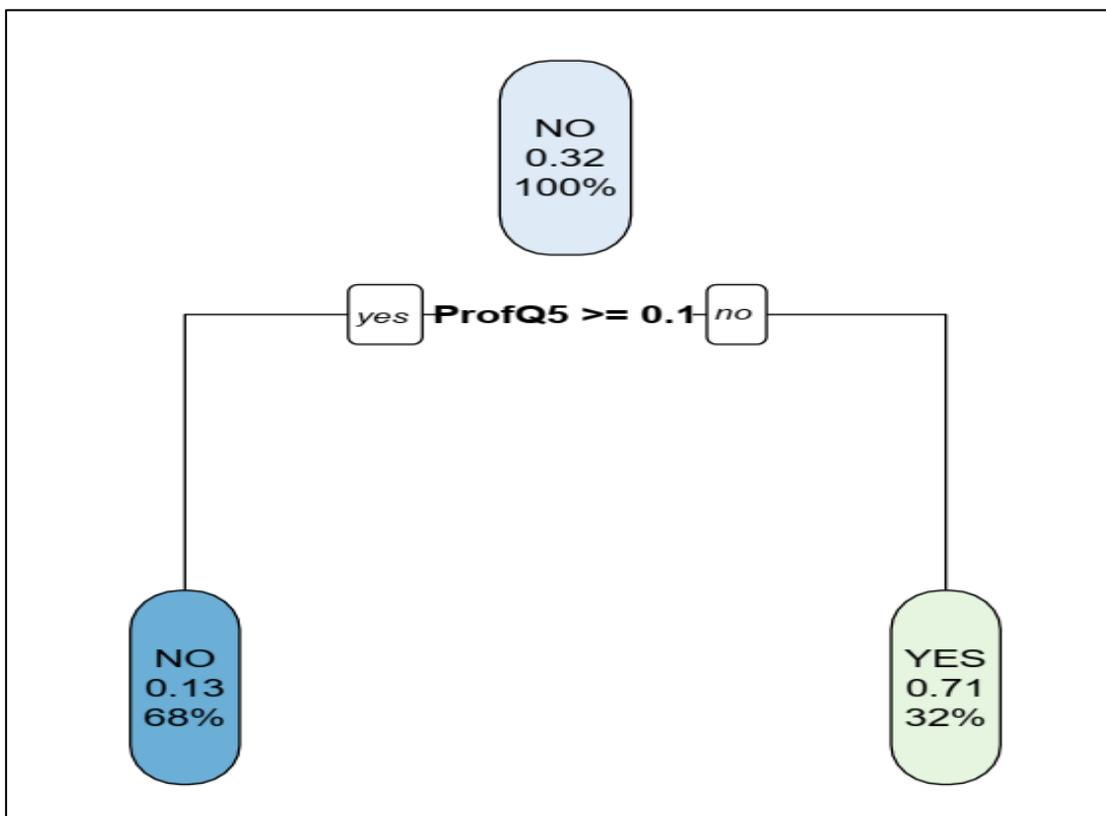


Figura 7.95. Árbol de decisión para el conjunto de variables de hábitat en la zona I

Una vez realizado el modelo, se utilizó las predicciones para determinar el índice de habitabilidad probabilístico (Guay *et al.*, 2000). De este modo se obtuvo las áreas habitables como el porcentaje del área total disponible para un determinado caudal. Los resultados obtenidos durante las temporadas de muestreo se encuentran en la Tabla 5.4. Así, a caudales de 13,7 m³/s el porcentaje del área habitable fue de 6,55 % respecto al área total disponible. Este porcentaje disminuye conforme el caudal aumenta hasta 2 % en 17,03 m³/s (Figura 7.96).

Tabla 7.30. Habitabilidad para la presencia de *Cryphiops caementarius* en la zona I

Características	Junio 2019	Julio 2019	Setiembre 2019	Octubre 2019
% de hábitat usado	2,00	5,00	4,81	6,55
Proporción de hábitat usado	0,02	0,05	0,05	0,07
Proporción de hábitat usado	0,02	0,05	0,06	0,09
Caudal	17,03	18,59	13,96	13,70
Área total	17964,1477	18647,047	15426,5411	13322,2209
% Área total	0,96	1	0,86	0,74

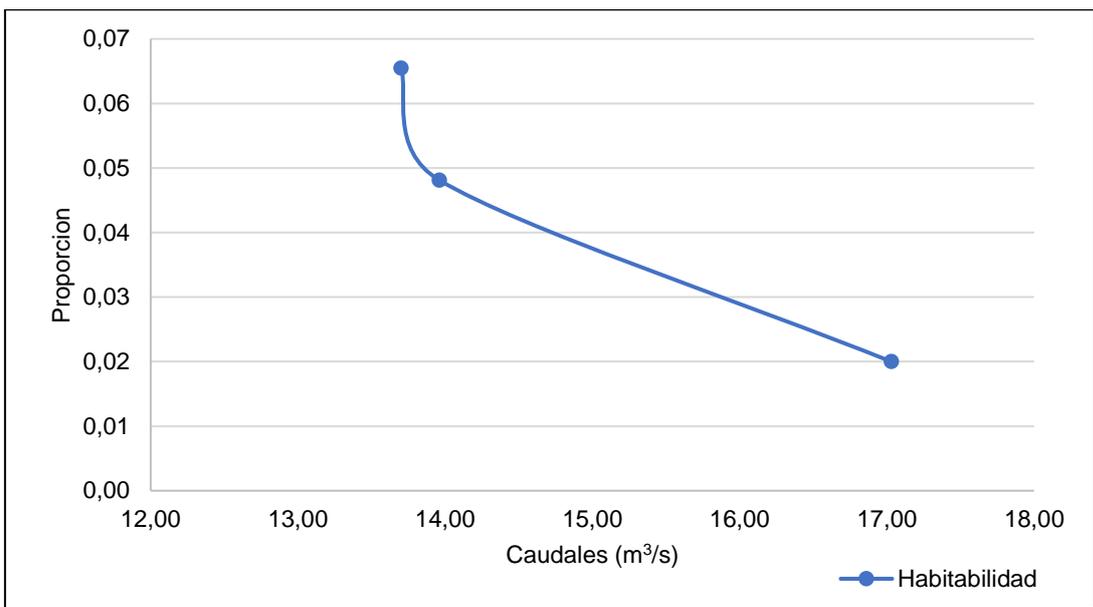


Figura 7.96. Habitabilidad de *Cryphiops caementarius* en relación con el área disponible

Interpolando la curva con la curva área-caudal se observa que el porcentaje de habitabilidad va disminuyendo en función del incremento del caudal, ocasionando que esta se maximiza a caudales de 10 m³/s (Figura 7.97)

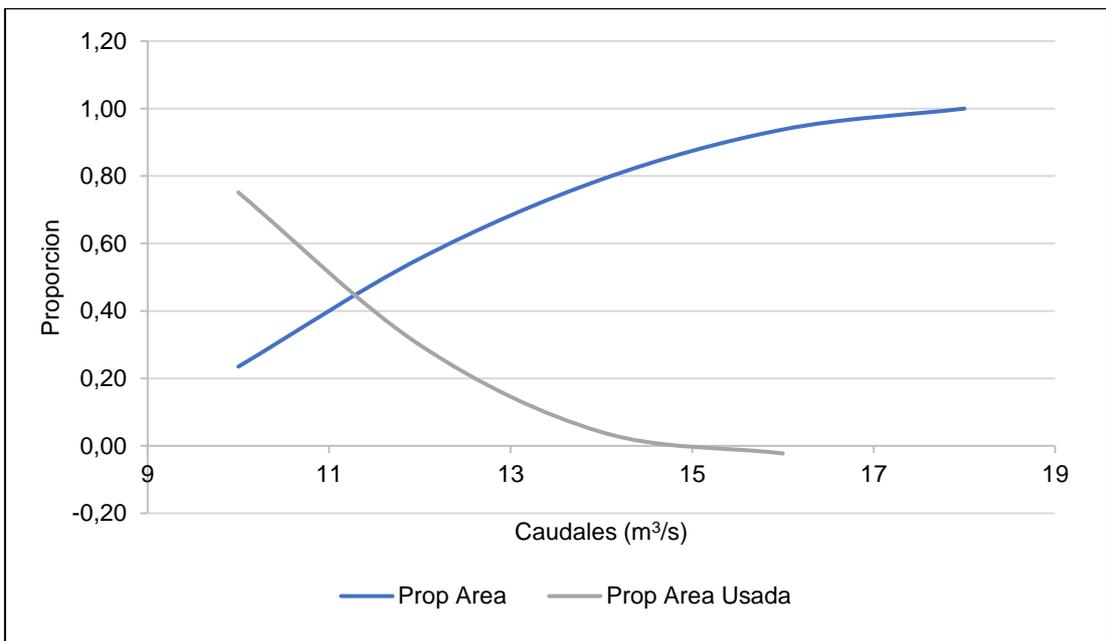


Figura 7.97. Habitabilidad de *Cryphiops caementarius* en relación con el área disponible generada por la relación caudal-área

B. Modelo de hábitat para *Cryphiops caementarius* en la zona II

La zona II, presentó la mayor abundancia de *Cryphiops*. Para esta área se realizó 2 modelos de hábitat. Uno de habitabilidad (presencia/ausencia) y otro de habitabilidad óptima (abundante/no abundante).

**a. Modelo de hábitat para habitabilidad (presencia -ausencia) de *Cryphiops caementarius* en la zona II**

Se registró 85 variables de hábitat en los períodos de muestreo en junio, julio, setiembre y octubre 2019, siendo un total de 48 UHM evaluados (12 UHM en cada mes evaluado). Del total de registros de *Cryphiops caementarius* por UHM, 40 fueron positivos a la presencia de esta especie y 8 fueron negativos.

La función de preferencia se definió como:

$$g(x)=0,373121-0,00407 (STS)+-0,396669(\text{Mesolithal}) \quad (7.2)$$

Donde:

STS: Sólidos totales suspendidos

De acuerdo con la Tabla 7.31 cada disminución en un 1 mg/L de la concentración de sólidos totales en suspensión en una UHM, se tiene 0,99 veces más razón de oportunidades de que *Cryphiops caementarius* esté presente. Del mismo modo, existirán 0,67 veces más razón de oportunidades que *Cryphiops caementarius* esté presente en ausencia de dominancia de partículas sedimentarias de tipo Mesolithal (cantos rodados de 6-20 cm). Para un mejor entendimiento del modelo, conviene dividir los coeficientes entre 4. Así, para cada mg/l de aumento de la concentración de Sólidos en suspensión disminuye en 0,4% la probabilidad de ocurrencia de *Cryphiops caementarius*. A su vez, la dominancia de partículas sedimentarias de tipo mesolithal por sobre otras partículas sedimentarias disminuye en 58% la probabilidad de presencia de *Cryphiops caementarius*. La probabilidad de clasificación efectiva del modelo para la presencia de *Cryphiops caementarius* fue de 89 % (Figura 7.98).

Tabla 7.31. Modelo de hábitat para la habitabilidad (presencia/ausencia) de *Cryphiops caementarius* en la zona II

Variable	Coficiente Estimado	Razón de oportunidades	Interpretación
Intercepto	0,373121	-	-
Sólidos totales en suspensión	-0,004075	0,995933292	-0,00409164
Mesolithal	-0,396669	0,672556605	-0,589792736
Área bajo la curva ROC (AUC)	0,9193	-	-
<i>cutoff</i>	0,375	-	-

(-): No aplica para esta variable.

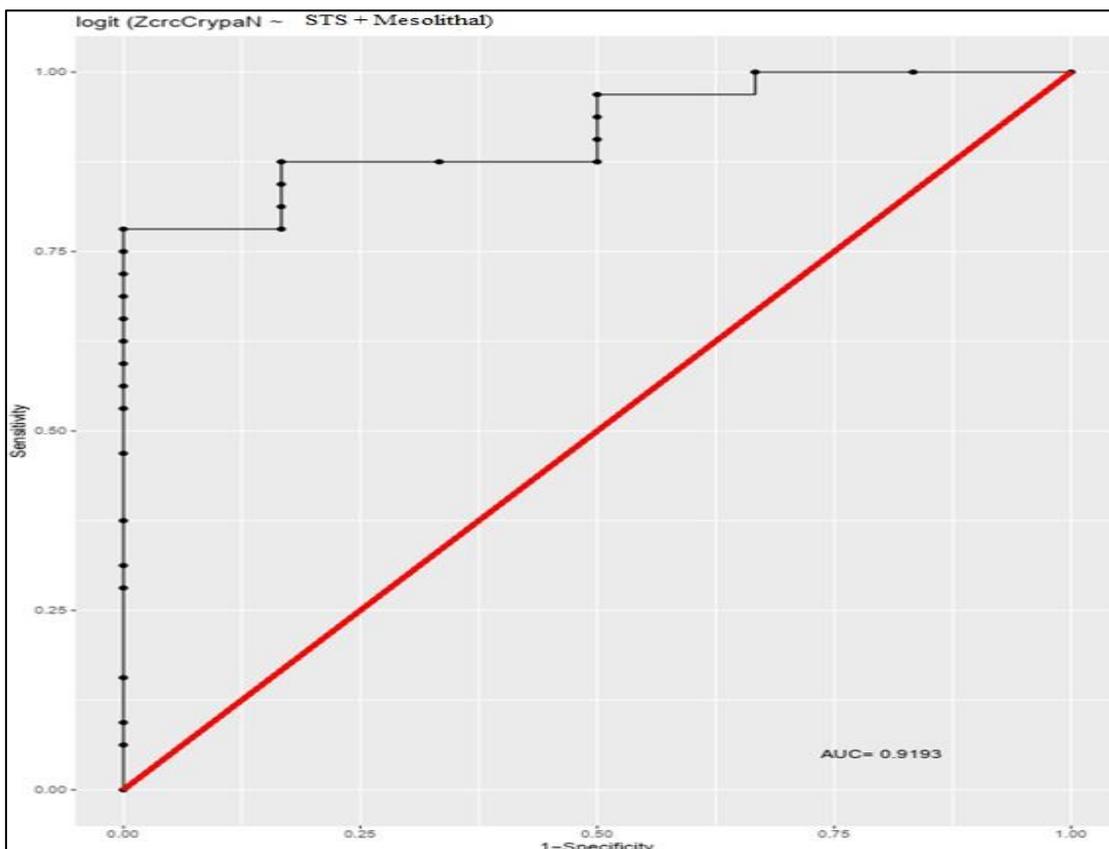


Figura 7.98. Curva ROC para el modelo de presencia de *Cryphiops caementarius* en la zona II (presencia/ausencia)

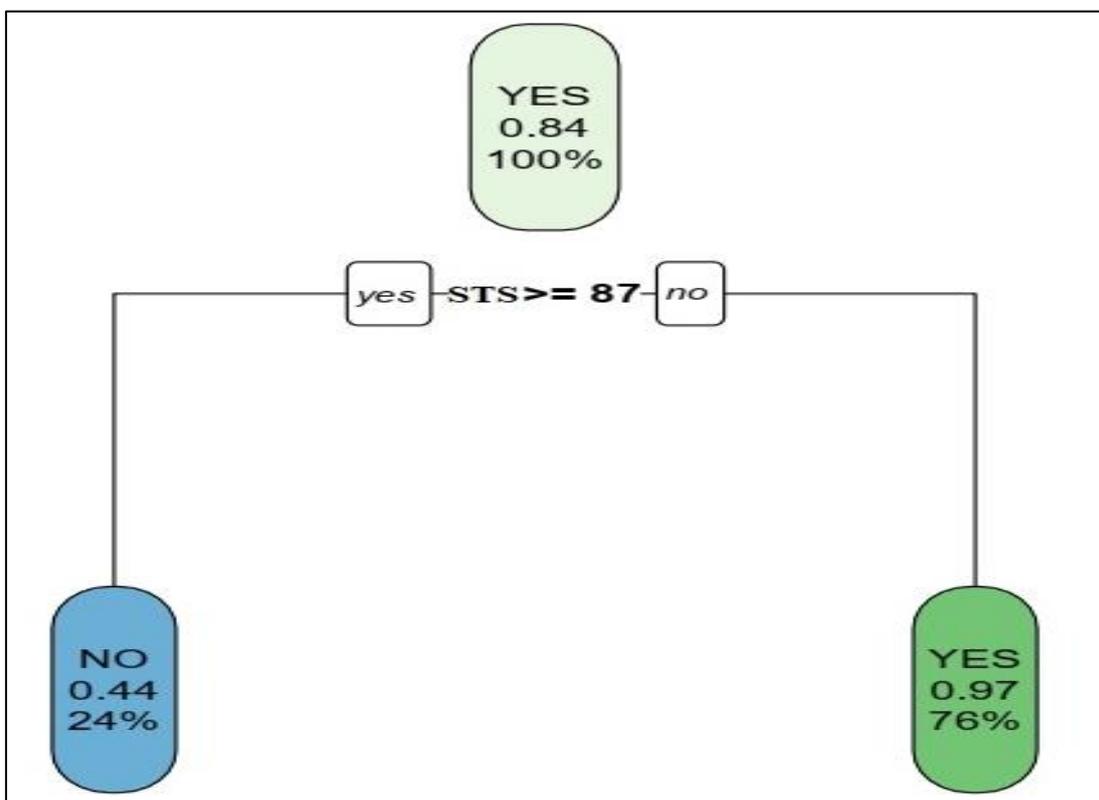


Figura 7.99. Árbol de decisión para el conjunto de variables de hábitat en la zona I



La clasificación mediante árboles de decisión seleccionó a la variable STS (sólidos totales en suspensión) para discriminar las UHM con presencia de *Cryphiops caementarius*. Así, según la clasificación obtenida, la presencia de esta especie, en cuanto a los datos obtenidos en el muestreo biológico y el conjunto de variables de hábitat recabadas, ocurre a concentraciones de sólidos en suspensión menores a 87 mg/L en 76% de los casos (Figura 7.99). Estos resultados son compatibles con los obtenidos en el modelo de habitabilidad resultado de la regresión logística (Tabla 7.32).

Tabla 7.32. Habitabilidad para la presencia de *Cryphiops caementarius* en la zona II

Características	Junio 2019	Julio 2019	Setiembre 2019	Octubre 2019
% de hábitat usado	10	18	21	12
Proporción de hábitat usado	0,10	0,18	0,21	0,12
Proporción de hábitat usado	0,10	0,19	0,24	0,21
Caudal	1,93	0,63	0,48	0,40
Área total	19358,61	18368,40	17068,16	11035,93
% Área total	1,00	0,96	0,92	0,74

b. Modelo de hábitat para habitabilidad (abundante - no abundante) de *Cryphiops caementarius* en la zona II

El modelo de hábitat para la habitabilidad óptima se realizó a partir de la matriz de habitabilidad (presencia/ausencia) considerando 40 UHM de los 48 UHM en las que se registró 85 variables de hábitat en cada período de muestreo. Del total de registros de *Cryphiops caementarius* por UHM, 17 fueron positivos para abundancia de esta especie y 23 fueron negativos.

La función de preferencia se definió como:

$$g(x) = -2,245361 - 0,884659(VQ95) + 0,573615(\text{Sapropel}) + 0,005895\text{TDS} \quad (7.3)$$

Donde:

VQ95: El percentil 95 de la velocidad

TDS: Sólidos totales disueltos

Tabla 7.33. Habitabilidad óptima (abundante-no abundante) para la presencia de *Cryphiops caementarius* en la zona II

Variable	Coefficiente Estimado	Razón de oportunidades	Interpretación
Intercepto	-2,245361	-	-
VQ95	-0,884659	0,412854933	-2,142784135
Sapropel	0,573615	1,774670905	0,323223308
Tds	0,005895	1,00591241	0,005860351
Área debajo de ROC (AUC)	0,89	-	-
cutoff	0,7143	-	-

(-): No aplica para esta variable.

De acuerdo con la Tabla 7.33 disminuyendo en 1 m/s del percentil 95 de la velocidad en una UHM, se tiene 0,41 veces más razón de oportunidades de que *Cryphiops caementarius* sea abundante. Del mismo modo, existirán 1,77 veces más razón de oportunidades que *Cryphiops caementarius* sea abundante cuando exista dominancia de componente orgánico (sapropel) en el sedimento. Por otro lado, incrementando en 1 mg/L la concentración de TDSS se incrementa 1,77 veces la razón de oportunidades que *Cryphiops caementarius* sea abundante. Para un mejor entendimiento del modelo, conviene dividir los coeficientes entre 4. Así, para cada 1 m/s de incremento del percentil 95 de la velocidad, se reduce en 214 % la probabilidad que *Cryphiops caementarius* sea abundante. Por otro lado, la presencia de Sapropel incrementa en 32 % la probabilidad de

que *Cryphiops caementarius* sea abundante y a cada incremento de 1 mg/L de TDS se tiene 0,5 % de probabilidad que *Cryphiops caementarius* sea abundante. La probabilidad de clasificación efectiva del modelo para la presencia de *Cryphiops caementarius* fue de 89 % (Figura 7.100)

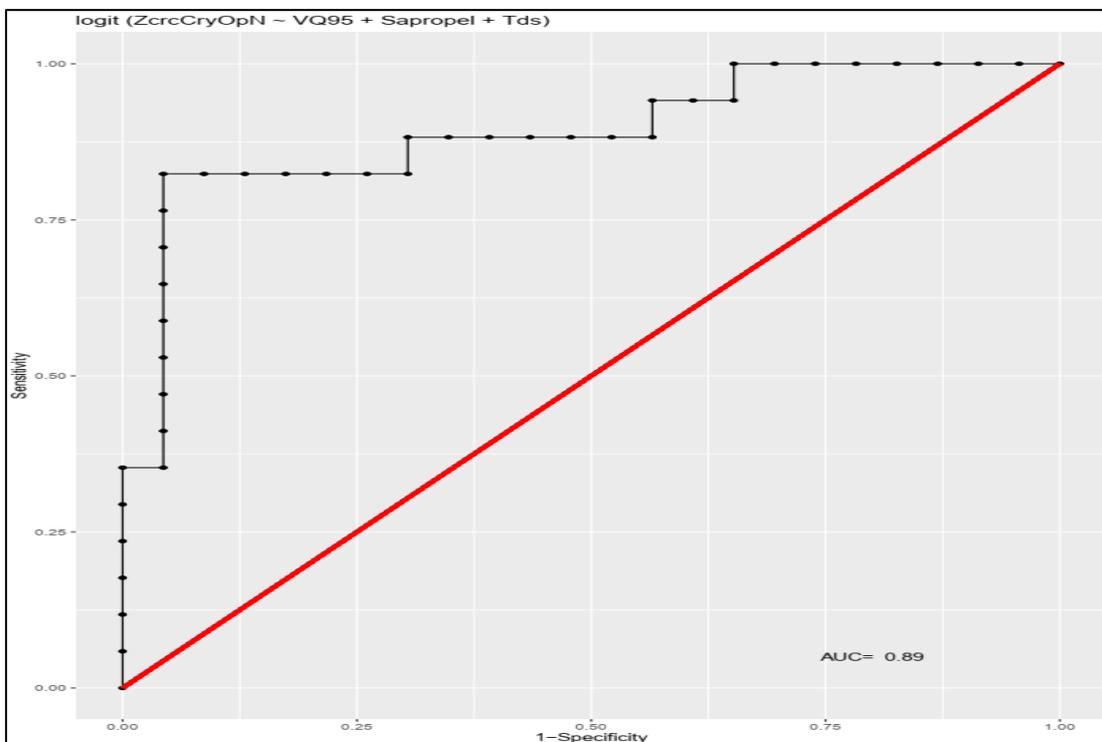


Figura 7.100. Curva ROC para el modelo de habitabilidad óptima de *Cryphiops caementarius* en la zona II

La clasificación mediante árboles de decisión seleccionó a la variable TDS para discriminar las UHM con abundancia de *Cryphiops caementarius*. Así, según la clasificación obtenida, la presencia de esta especie es abundante, en cuanto a los datos obtenidos en el muestreo biológico y el conjunto de variables de hábitat recabadas, ocurre a concentraciones de sólidos totales disueltos menores a 275 mg/L en 90 % de los casos (Figura 7.101). Estos resultados son compatibles con los obtenidos en el modelo de habitabilidad resultado de la regresión logística (Tabla 7.34).

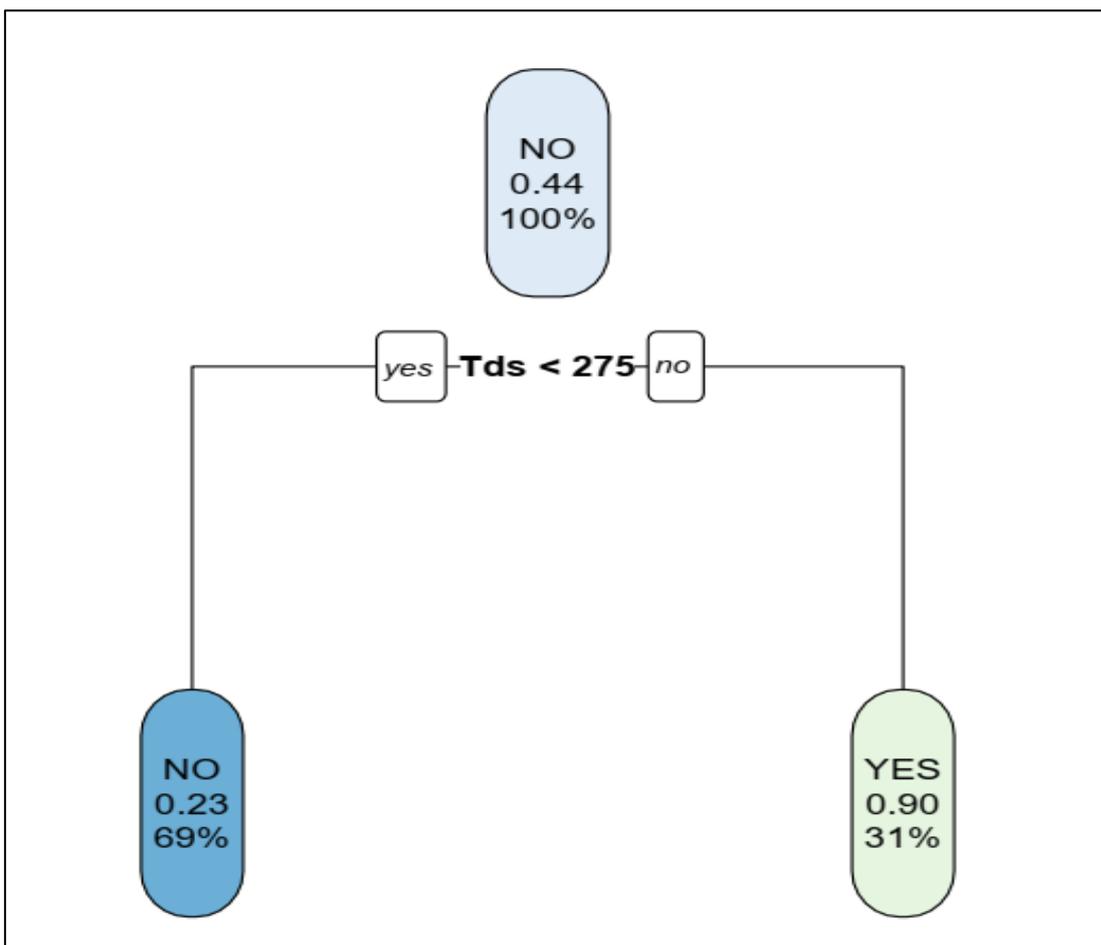


Figura 7.101. Árbol de decisión para el conjunto de variables de hábitat en la zona II

Una vez realizado el modelo, se utilizó las predicciones de este para determinar el índice de habitabilidad probabilístico (Guay *et al.*, 2000). De este modo se obtuvo las áreas habitables como el porcentaje del área total disponible para un determinado caudal. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 7.34. Así, a caudales de 0,48 m³/s el porcentaje del área habitable óptima, para las áreas con presencia de *Cryphiops caementarius* fue de 62 % respecto al área total disponible de las áreas con presencia de esta especie. Este porcentaje disminuye conforme el caudal aumenta hasta 0 % en 1,93 m³/s.

Tabla 7.34. Habitabilidad para la presencia de *Cryphiops caementarius* en la zona II

Características	Junio 2019	Julio 2019	Setiembre 2019	Octubre 2019
% de hábitat usado	0	3	62	15
Proporción de hábitat usado	0,00	0,03	0,62	0,15
Proporción de habitad usado	0,00	0,03	0,68	0,20
Caudal (m ³ /s)	1,93	0,63	0,48	0,40
Área total (m ²)	19358,61	18368,40	17068,16	11035,93
% Área total	1,00	0,96	0,92	0,74



Los datos de habitabilidad y habitabilidad óptima se agregan para la obtención de la habitabilidad total. Así, se obtuvo que la habitabilidad total se maximiza a caudales de 0,48 m³/s, disminuyendo en caudales de 1,93 m³/s (Figura 7.102)

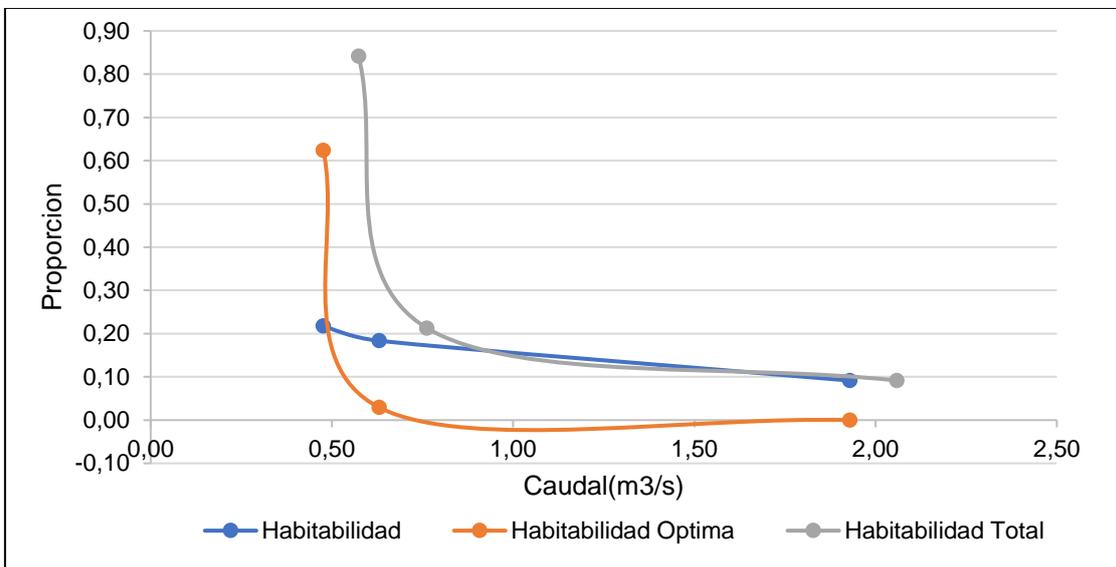


Figura 7.102. Habitabilidad, habitabilidad óptima y habitabilidad total de *Cryphiops caementarius* en la zona II

Interpolando las tendencias de habitabilidad total con la curva área-caudal se observa que el porcentaje de habitabilidad total va disminuyendo en función del incremento del caudal, siendo que esta se maximiza a caudales menores a 0,5 m³/s reduciéndose drásticamente en caudales de 5 m³/s (Figura 5.11)

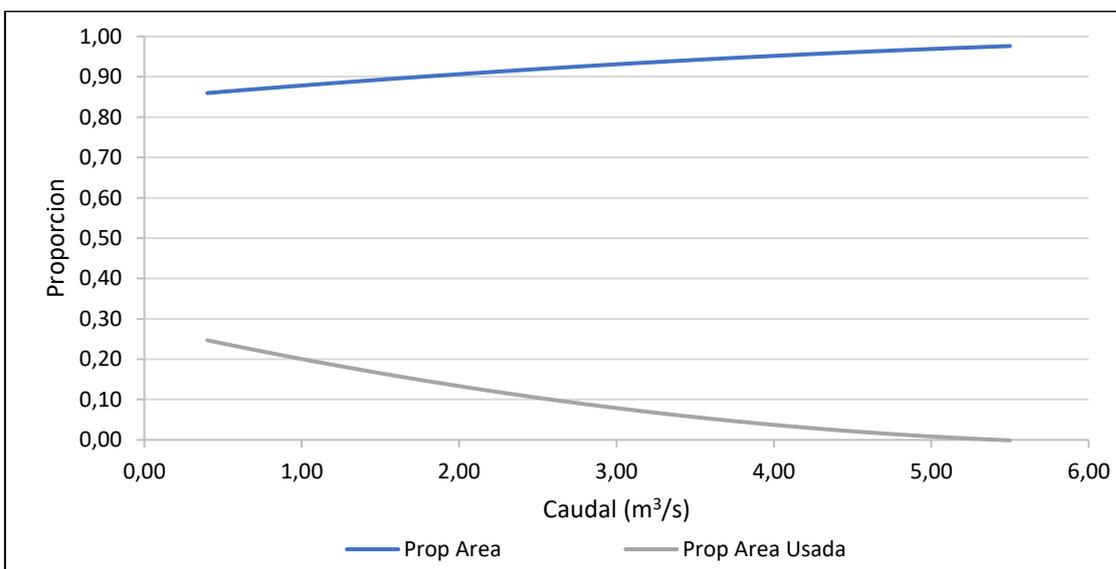


Figura 7.103. Habitabilidad de *Cryphiops caementarius* en área disponible generada por relación caudal área en la zona II



C. Modelo de hábitat para *Cryphiops caementarius* en la zona III

Se realizó 2 modelos de hábitat. Uno de habitabilidad (presencia/ausencia) y otro de habitabilidad óptima (abundante/no abundante)

a. Modelo de hábitat para la habitabilidad (presencia/ausencia) de *Cryphiops caementarius* en la zona III

Se registró 85 variables de hábitat en los períodos de muestreo en junio, julio, setiembre y octubre 2019, siendo un total de 28 UHM evaluados (7 UHM en cada mes evaluado). Del total de registros de *Cryphiops caementarius* por UHM, 21 fueron positivos para la presencia de esta especie y siete fueron negativos.

La función de preferencia se definió como:

$$g(x) = -0,6587 + 3,2278(\text{Shallow fast}) + 0,4538(\text{Phytal}) \quad (7.4)$$

Donde:

Shallow fast: áreas someras y de flujo rápido

Phytal: vegetación sumergida

Tabla 7.35. Modelo de hábitat para la habitabilidad (presencia/ausencia) de *Cryphiops caementarius* en la zona III

Variable	Coficiente Estimado	Odds ratios	Interpretación
Intercepto	-0,6587	-	-
Shallow fast	3,2278	25,2241029	0,80695
Phytal	0,4538	1,57428311	0,11345
Área debajo de ROC (AUC)	0,881	-	-
Cutoff	0,68	-	-

(-): No aplica para esta variable.

De acuerdo con la Tabla 7.35 incrementando el porcentaje de áreas someras y rápidas (shallow fast) se tiene 25,22 veces más razón de oportunidades que *Cryphiops caementarius* esté presente en una UHM. Del mismo modo, existirán 1,57 veces más razón de oportunidades que *Cryphiops caementarius* esté presente cuando la vegetación sumergida es dominante. Para un mejor entendimiento del modelo, se dividió los coeficientes entre 4. Así, incrementando el porcentaje de áreas rasas y de flujo rápido (shallow fast) se incrementa en 80 % la probabilidad que *Cryphiops caementarius* esté presente. Por otro lado, cuando la vegetación sumergida es dominante se tiene 11,34 % probabilidad de *Cryphiops caementarius* esté presente. La probabilidad de clasificación del modelo para la presencia de *Cryphiops caementarius* fue de es de 88,1 % (Figura 7.104)

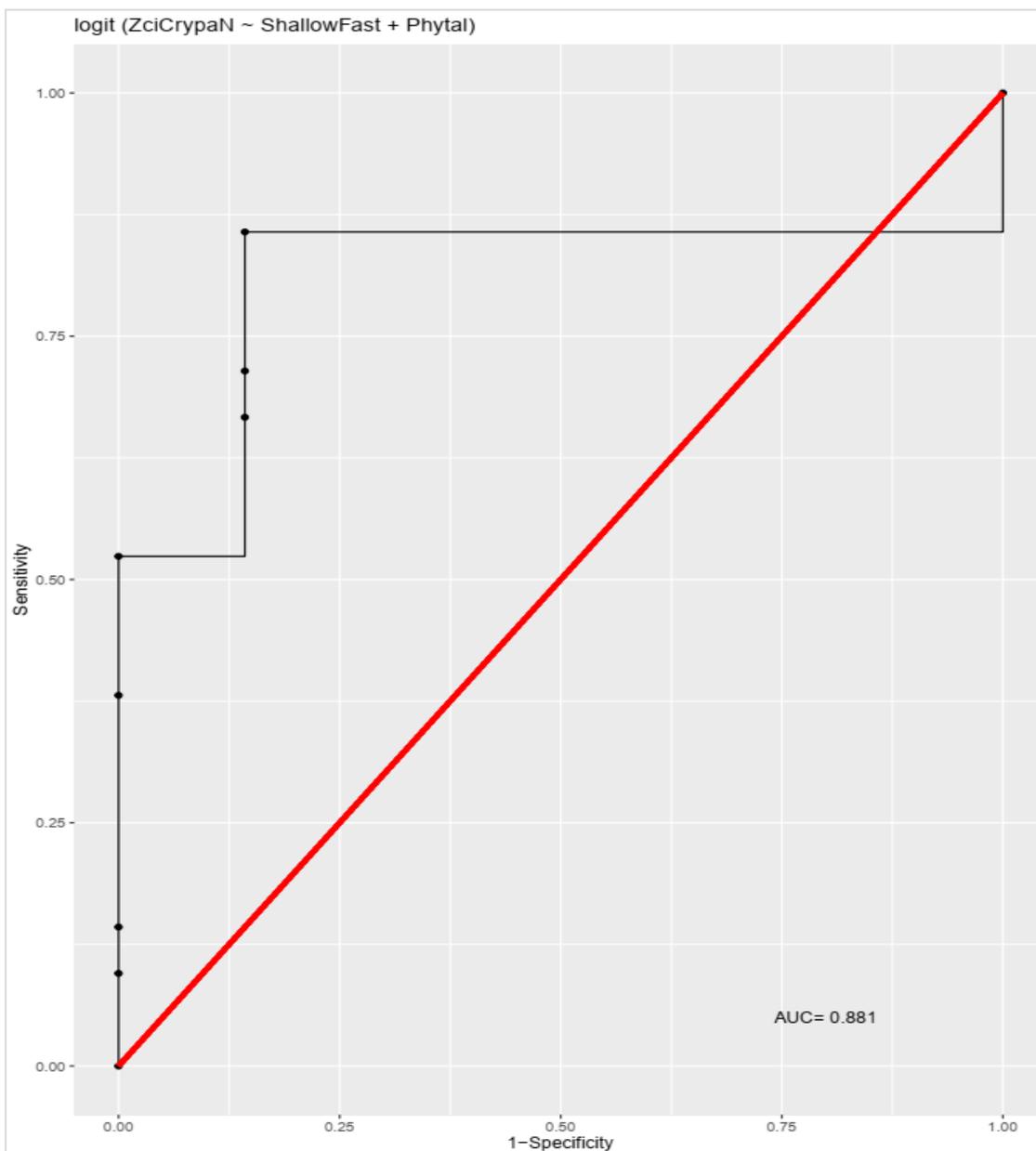


Figura 7.104. Curva ROC para el modelo de presencia de *Cryphiops caementarius* en la zona III

La clasificación mediante árboles de decisión seleccionó a las variables shallow fast y Phytal para discriminar las UHM con presencia de *Cryphiops caementarius*. Así, según la clasificación obtenida, la presencia de esta especie, en cuanto a los datos obtenidos en el muestreo biológico y el conjunto de variables de hábitat recabadas, ocurre a en porcentajes de áreas someras rápidas mayores a 2.5% en una UHM (Figura 7.105). Estas condiciones se dan en 57 % de los casos. Por otro lado, siendo que estas condiciones no se cumplan la presencia de Phytal promueve la presencia de *Cryphiops caementarius* en 9 % de los casos. Estos resultados son compatibles con los obtenidos en el modelo de habitabilidad resultado de la regresión logística.

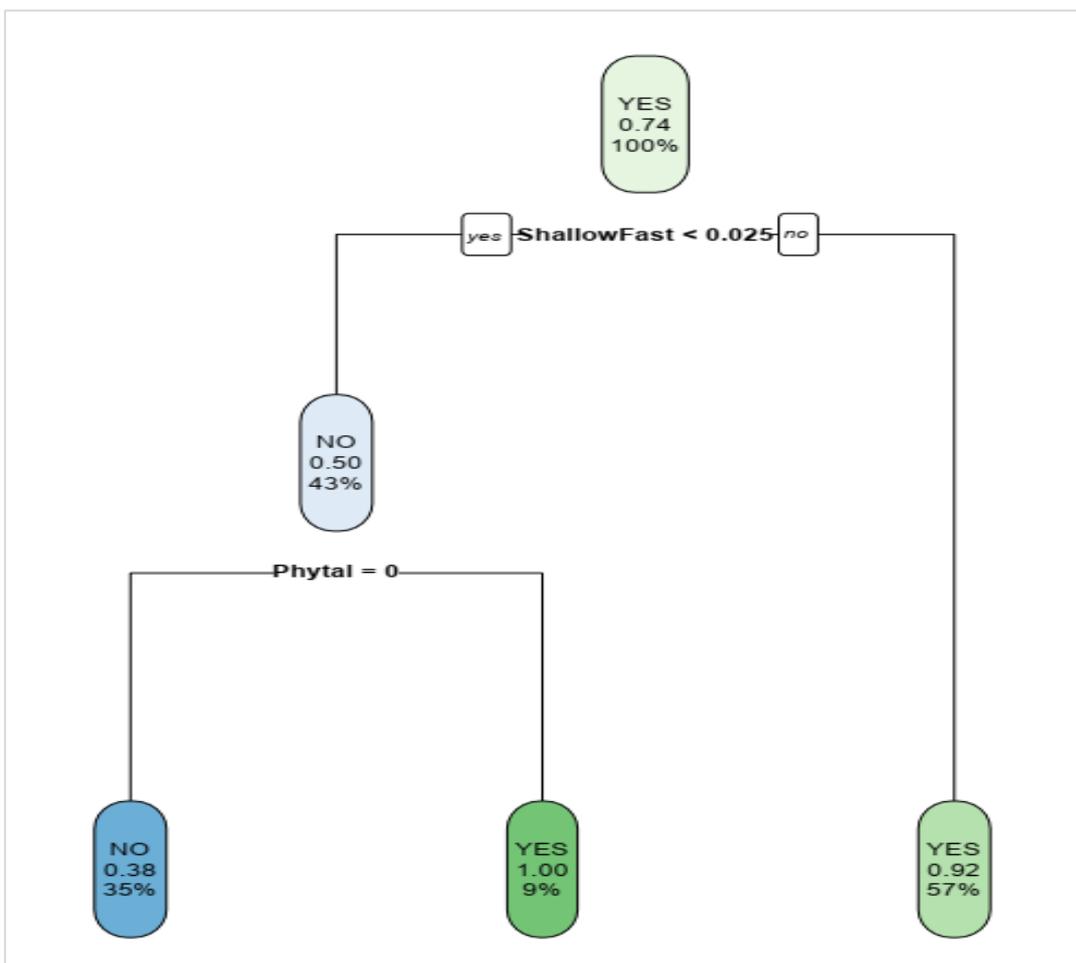


Figura 7.105. Árbol de decisión para el conjunto de variables de hábitat en la Zona III (zona de influencia) para la presencia de *Cryphiops caementarius*

Una vez realizado el modelo se utilizó las predicciones para determinar el índice de habitabilidad probabilístico (Guay *et al*, 2000). De este modo se obtuvo las áreas habitables como el porcentaje del área total disponible para un determinado caudal. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 5.10. Así, a caudales de 12,43 m³/s el porcentaje del área habitable por *Cryphiops caementarius* fue de 6.9% respecto al área total disponible. Este porcentaje disminuye conforme el caudal aumenta hasta 0 % en 16,77 m³/s.

Tabla 7.36. Habitabilidad (presencia/ausencia) de *Cryphiops caementarius* en la zona III

Características	Junio 2019	Julio 2019	Setiembre 2019	Octubre 2019
% de hábitat usado	0	4,9	6,9	5,0
Proporción de hábitat usado	0,00	0,05	0,07	0,05
Proporción de hábitat usado	0,00	0,05	0,08	0,06
Caudal (m ³ /s)	16,77	14,30	12,43	10,75
Área total (m ²)	18485,86	16743,70	15684,99	14496,70
% Área total	1,00	0,91	0,85	0,78

b. Modelo de hábitat para la habitabilidad óptima (abundante/ no abundante) de *Cryphiops caementarius* en la zona III

El modelo de hábitat para la habitabilidad óptima se realizó a partir de la matriz de habitabilidad (presencia/ausencia) considerando 22 UHM de las 28 UHM en las que se



registró 85 variables de hábitat en cada período de muestreo. Del total de registros de *Cryphiops caementarius* por UHM, 8 fueron positivos para abundancia de esta especie y 14 fueron negativos.

La función de preferencia se definió como:

$$g(x)=-2,13996+0.164654 \text{ (Rápido laminar)} \tag{7.5}$$

La interpretación del modelo (Tabla 5.9) refiere que incrementando el porcentaje de áreas rasas y rápidas (Rápido laminar) se tiene 1.178 veces más razón de oportunidades que *Cryphiops caementarius* sea abundante en una UHM. Para un mejor entendimiento del modelo, se dividió los coeficientes entre 4. Así, incrementando el porcentaje de áreas rasas y de flujo rápido (rápido laminar) se incrementa en 13.96% la probabilidad que *Cryphiops caementarius* sea abundante. La probabilidad de clasificación efectiva del modelo para la abundancia de *Cryphiops caementarius* fue de es de 78.57% (Figura 7.106)

Tabla 7.37. Modelo de hábitat para la habitabilidad (presencia/ausencia) de *Cryphiops caementarius* en la zona III

Variable	Coefficiente Estimado	Razón de oportunidades	interpretación
Intercepto	-2,3319	-	-
Rápido laminar	0,16347	1,178985119	0,139657403
Área debajo de ROC (AUC)	0,8313	-	-
Cut off	0,4927536	-	-

(-): No aplica para esta variable.

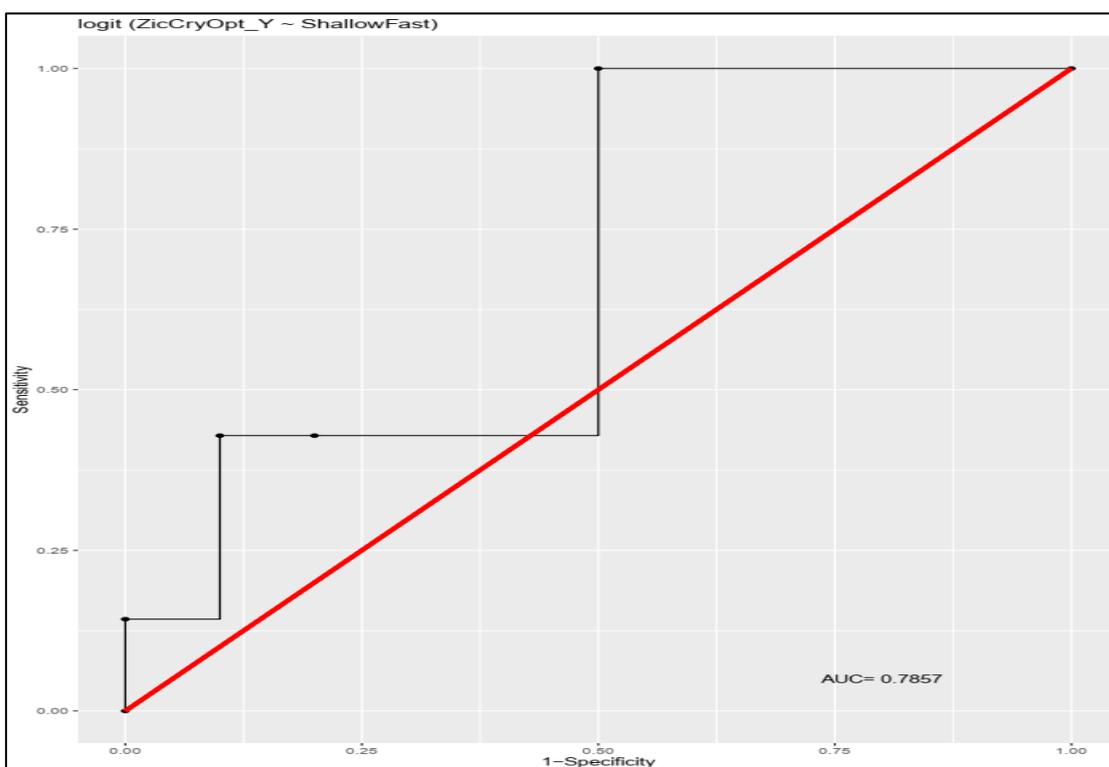


Figura 7.106. Curva ROC para el modelo de abundancia de *Cryphiops caementarius* en la zona III

La clasificación mediante árboles de decisión seleccionó a la variable rápido laminar para discriminar las UHM con abundancia de *Cryphiops caementarius*. Así, según la clasificación obtenida, la abundancia de esta especie, en cuanto a los datos obtenidos en

el muestreo biológico y el conjunto de variables de hábitat recabadas, ocurre en UHM con presencia de un porcentaje de áreas rasas y rápidas mayores a 2,5 % en 58 % de los casos. (Figura 7.107). Estos resultados son compatibles con los obtenidos en el modelo de habitabilidad resultado de la regresión logística.

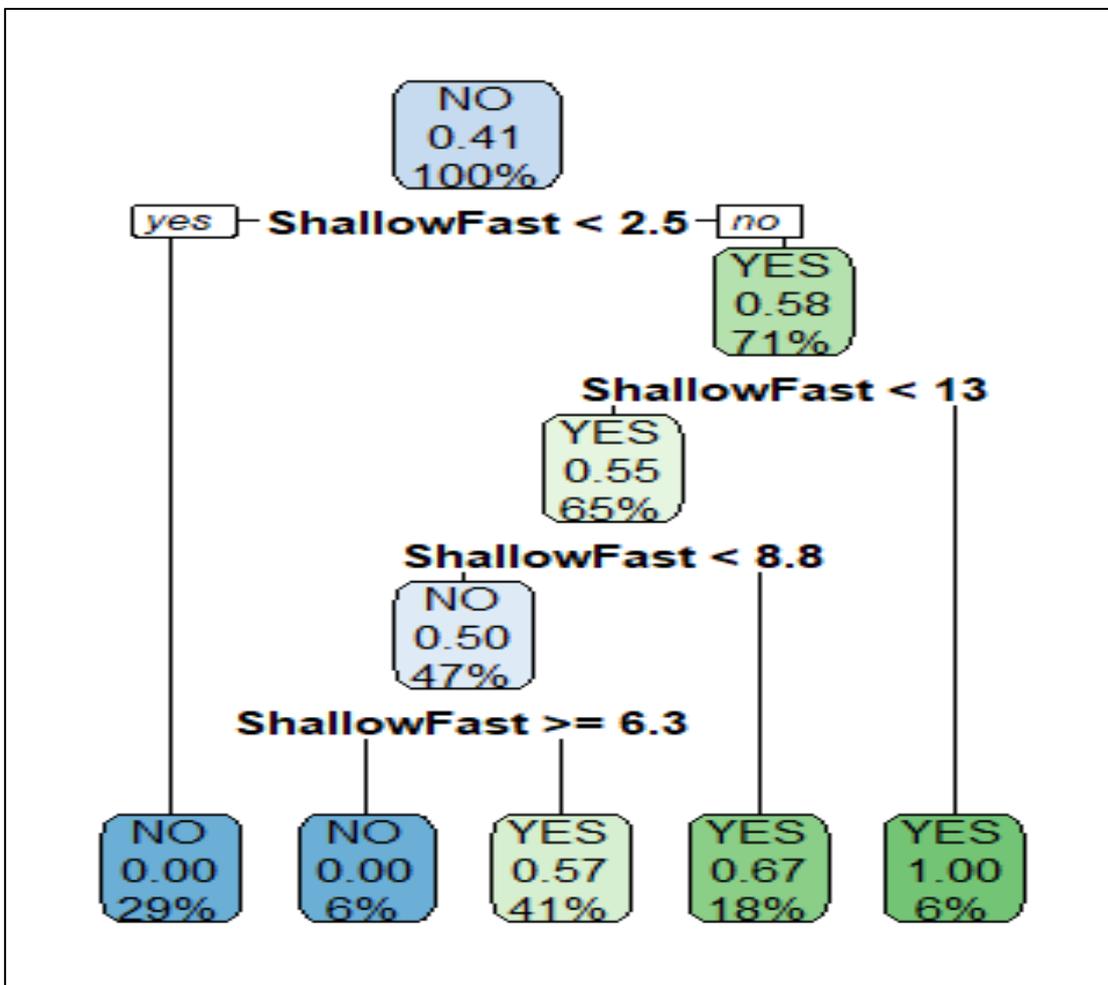


Figura 7.107. Árbol de decisión para el conjunto de variables de hábitat en la zona III

Una vez realizado el modelo, se utilizó las predicciones para determinar el índice de habitabilidad probabilístico (Guay et al, 2000). De este modo se obtuvo las áreas habitables como el porcentaje del área total disponible para un determinado caudal. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 7.38. Así, a caudales de 12,43 m³/s el porcentaje del área habitable por *Cryphiops caementarius* fue de 47% respecto al área total disponible. Este porcentaje disminuye conforme el caudal aumenta hasta 11 % en 16,77 m³/s.

Tabla 7.38. Habitabilidad Óptima para la abundancia de *Cryphiops caementarius*

Características	Junio 2019	Julio 2019	Setiembre 2019	Octubre 2019
% de hábitat usado	11	34	47	32
Proporción de hábitat usado	0,11	0,34	0,47	0,32
Proporción de hábitat usado	0,11	0,38	0,56	0,41
Caudal (m ³ /s)	16,77	14,30	12,43	10,75
Área total (m ²)	18485,86	16743,70	15684,99	14496,70
% Área total	1,00	0,91	0,85	0,78



Los datos de habitabilidad y habitabilidad óptima se agregan para la obtención de la habitabilidad total. Así, se obtuvo que la habitabilidad total se maximiza a caudales de 12,43 m³/s, disminuyendo en caudales de 16,77 m³/s (Figura 7.108)

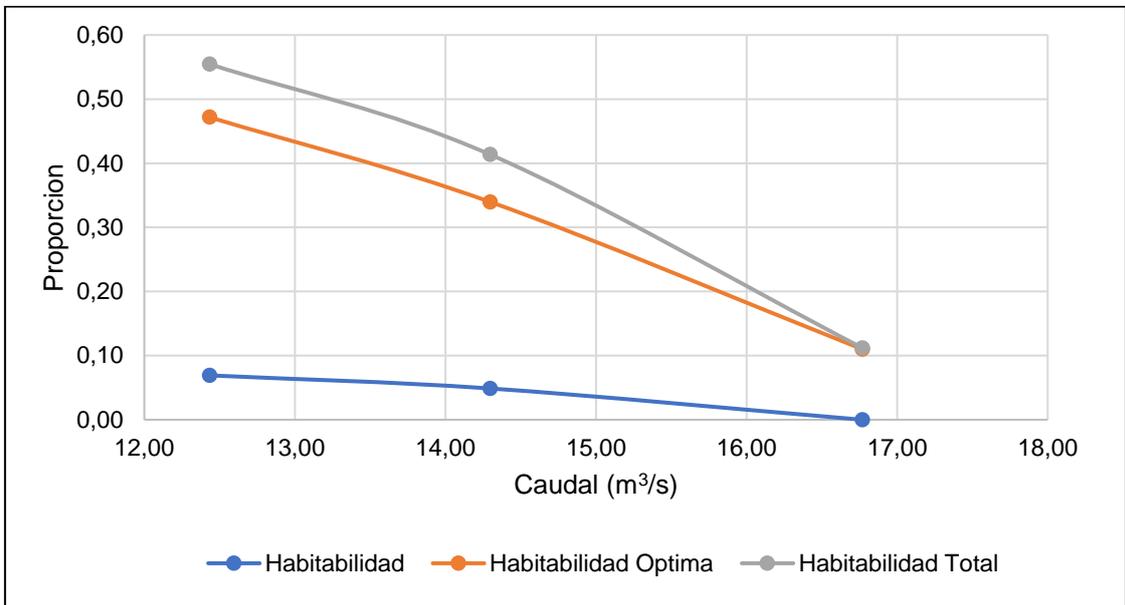


Figura 7.108. Habitabilidad, habitabilidad óptima y habitabilidad total de *Cryphiops caementarius* en relación con el área disponible en la zona III

Interpolando las tendencias de habitabilidad total con la curva área-caudal se observa que el porcentaje de habitabilidad total va disminuyendo en función del incremento del caudal, siendo que esta se maximiza a caudales de 10 m³/s, reduciéndose progresivamente la habitabilidad en valores de caudal por sobre o por debajo de este umbral. (Figura 7.109)

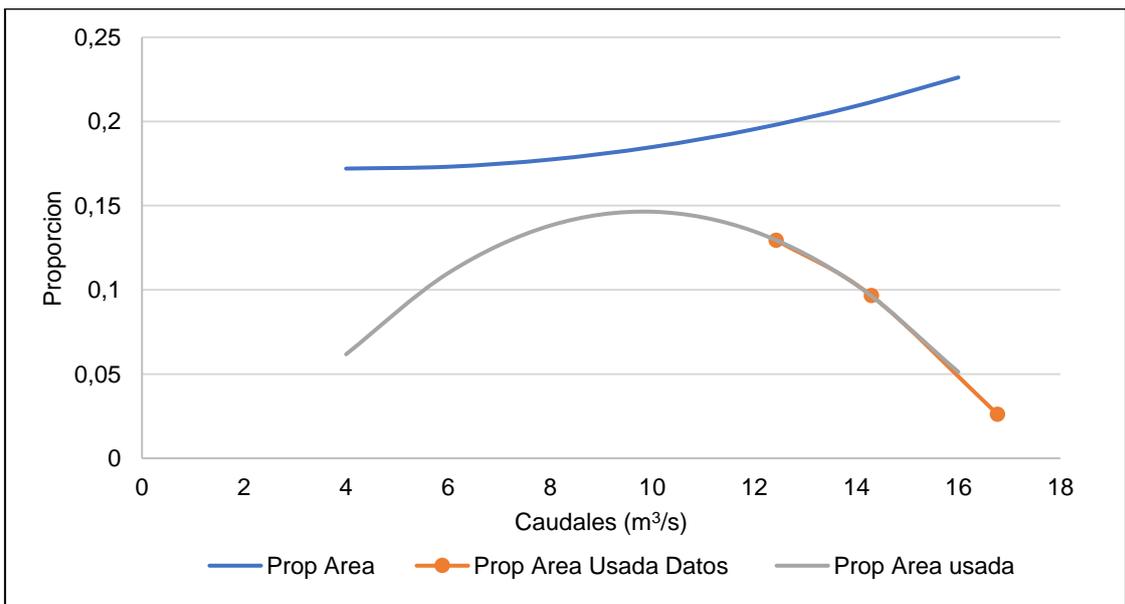


Figura 7.109. Habitabilidad, habitabilidad óptima y habitabilidad total de *Cryphiops caementarius* relación al área caudal en la zona III

8. DISCUSIÓN

En esta sección se discutirá los principales resultados de la calidad de agua, sedimento y comunidades hidrobiológicas asociados al caudal ecológico estimado y preferencia de hábitat del camarón.

Las 3 zonas evaluadas de aproximadamente 20 km entre los 700 m s. n. m. y 1200 m s. n. m. se encuentran ubicadas en la parte media baja de la cuenca del río Pativilca²⁷. El río Pativilca tiene una pendiente promedio de 2,7 % (ANA, 2015) y en las zonas evaluadas el río tiene una pendiente de 2,5 % para la zona I; 3,0 % para la zona II; y 2,2 % en la zona III. La zona I tienen el cauce del río más angosto y con presencia de saltos y rápidos caracterizándose, así como un régimen torrencioso ya que tiene pendientes mayores a 1,5 % (Vide, 1997), esta condición hace que las aguas avancen de manera rápida o estrepitosa con alto potencial erosivo formando en su trayecto cañones con presencia de saltos, cascadas y cataratas. A partir de la zona II el cauce del río se ensancha y la corriente se hace más lenta, ensanchándose el río por efectos de la erosión. En la Figura 8.1 se muestra el perfil longitudinal del cauce del río Pativilca y la distribución de zonas de estudio y en la Figura 8.2 la morfología del lecho río por cada zona evaluada.

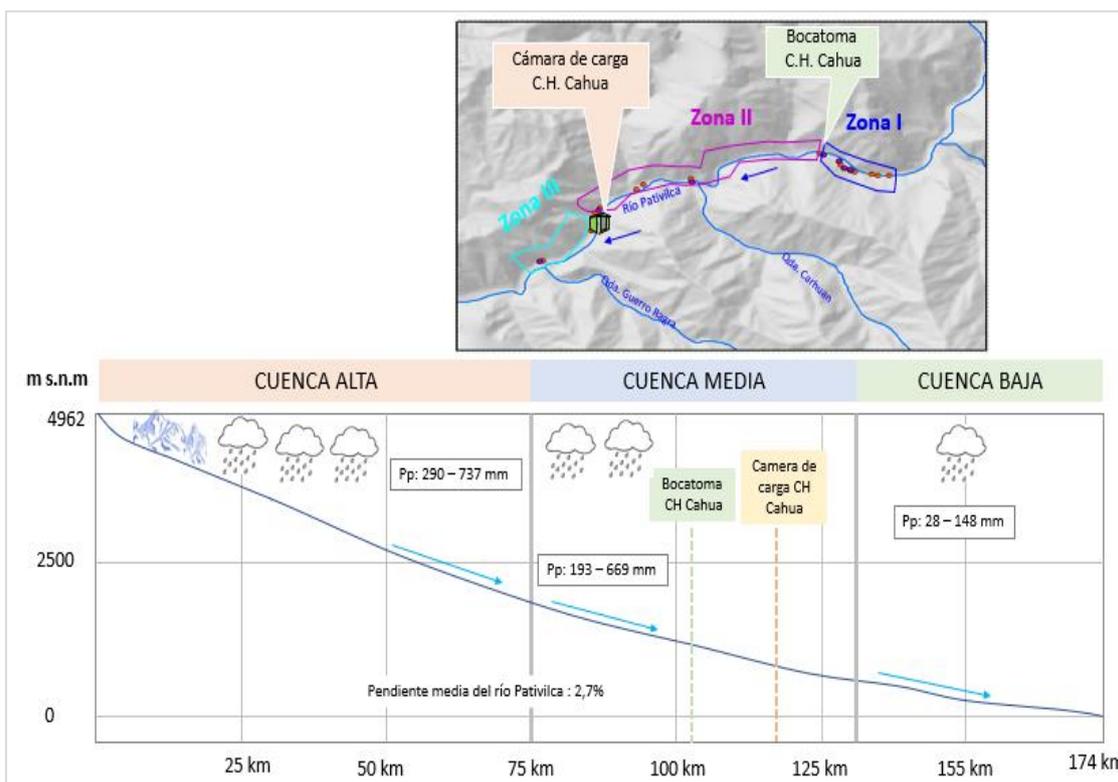


Figura 8.1. Perfil longitudinal del cauce del río Pativilca y distribución de zonas

27

El río Pativilca nace en las alturas de la cordillera Huayhuash, aproximadamente a los 5000 m s. n. m.; alimentándose así por las precipitaciones estacionales, deshielos y lagunas (Mark *et al.*, 2003) ubicadas en la cabecera de dicha cuenca hasta su desembocadura en el océano pacífico, recorriendo aproximadamente 170 km en su curso principal.

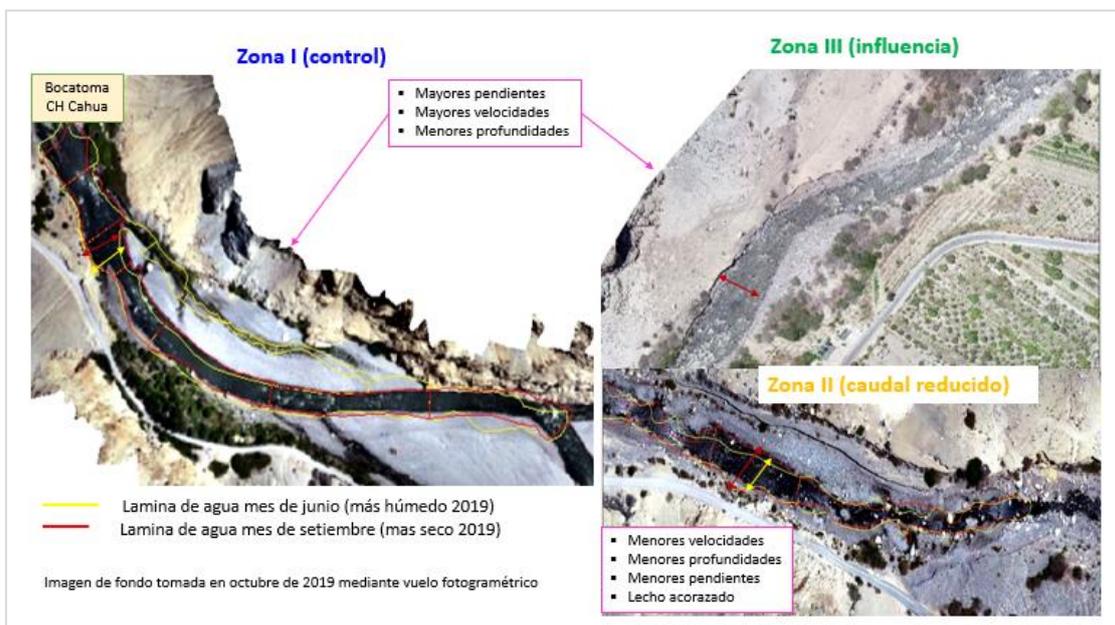


Figura 8.2. Morfología del lecho del cauce del río Pativilca evaluado por zonas

Variabilidad del régimen de caudales en el río Pativilca

El río Pativilca aguas arriba de la C.H. Cahua (cuena media-alta) cuenta con diferentes derechos de uso de agua desde demandas de uso agrícola, acuícola y uso energético (84 derechos de uso de agua-DUA con fines agrarios²⁸). La C.H. Cahua cuenta con 3 DUA²⁹, la primera licencia corresponde a la autorización de la captación de agua en el río Pativilca de hasta 611,622 MMC anuales, y las otras 2 licencias para el aprovechamiento de los recursos provenientes de las Lagunas Viconga³⁰ y Collorcocha, de hasta 28 MMC anuales y de hasta 0,5 MMC anuales respectivamente. Dicha condición sumado a la característica particular de un río costero genera que su régimen irregular particular del río se acentúe.

En la Figura 8.3 se muestra la ubicación de los DUA otorgados a C.H. la Cahua.

²⁸ Derechos de uso de agua otorgados a las comunidades campesinas de Mahuay, Pocpa, Pomapata, Quero, San Antonio de Quispata, Aquia, Llamac, Ticllos, Nanis, Pacllon, Mangas, Corpanqui y comisión de usuarios de Agua Chiquian entre otros (Registro administrativo de derechos de uso de agua-RADA).

²⁹ R.D. N.º 0107-2011-ANA-AAA-CAÑETE-FORTALEZA del 5 de julio de 2011; R.D N.º 1480-2017-ANA-AAA CAÑETE-FORTALEZA del 18 de julio de 2017; R.D. N.º 1480-2017-ANA-AAA-CAÑETE-FORTALEZA del 18 de julio de 2017; R.D. N.º 0538-2017-ANA-AAA-CAÑETE-FORTALEZA del 18 de julio de 2017; R.D N.º 1480-2017-ANA-AAA-CAÑETE-FORTALEZA del 13 de marzo de 2017.

³⁰ Asimismo, CH Cahua cuenta con autorización para la regulación de la laguna Viconga desde el año 1969 para lo cual se sobre elevó el nivel natural de la laguna para almacenar 15 MMC.

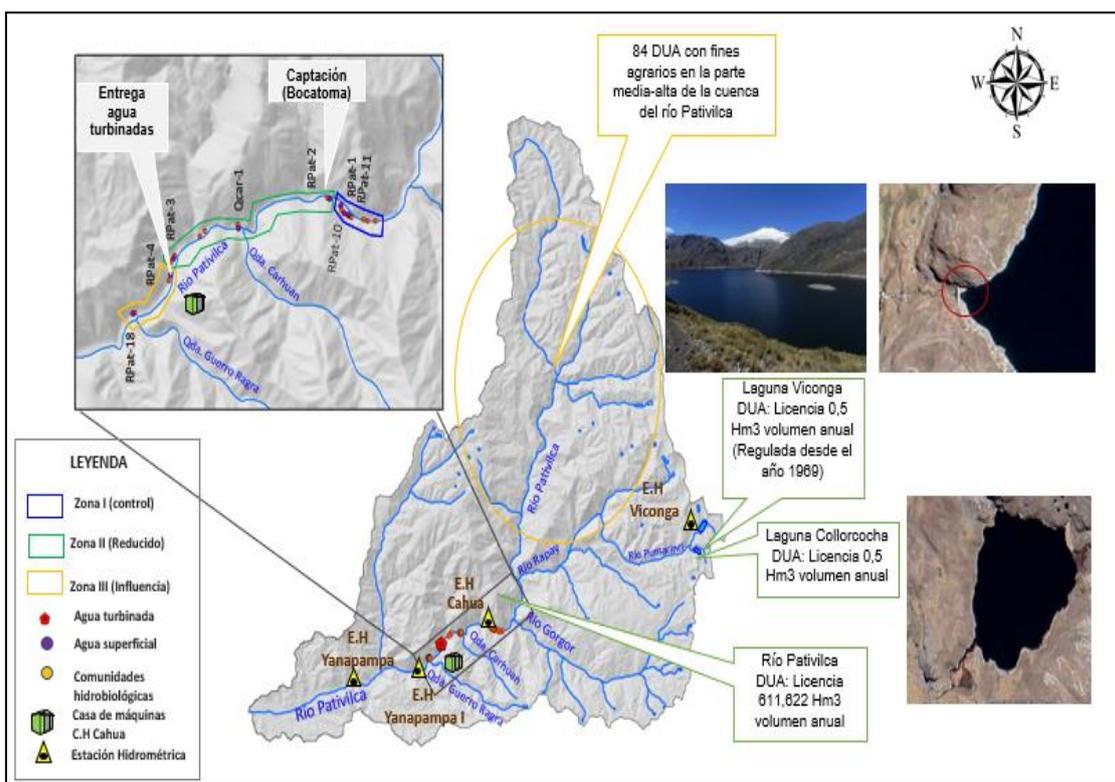


Figura 8.3. Derecho de uso de agua cuenca media y alta del río Pativilca

Para comprobar lo dicho con anterioridad a continuación se muestra los hidrogramas de los registros de caudales históricos medios mensuales de los años 1960 al 1968 (sin la regulación de las lagunas) y del 1968 al 2008 (con la regulación de las lagunas), de acuerdo con los registros de la estación Yanapampa (ANA, 2015), para lo cual se calculó el percentil de excedencia del 25 % para caracterizar un año húmedo, el percentil de excedencia del 50% (año promedio) y el percentil de excedencia de 75 % para un año seco (Figura 8.4, 8.5 y 8.6).

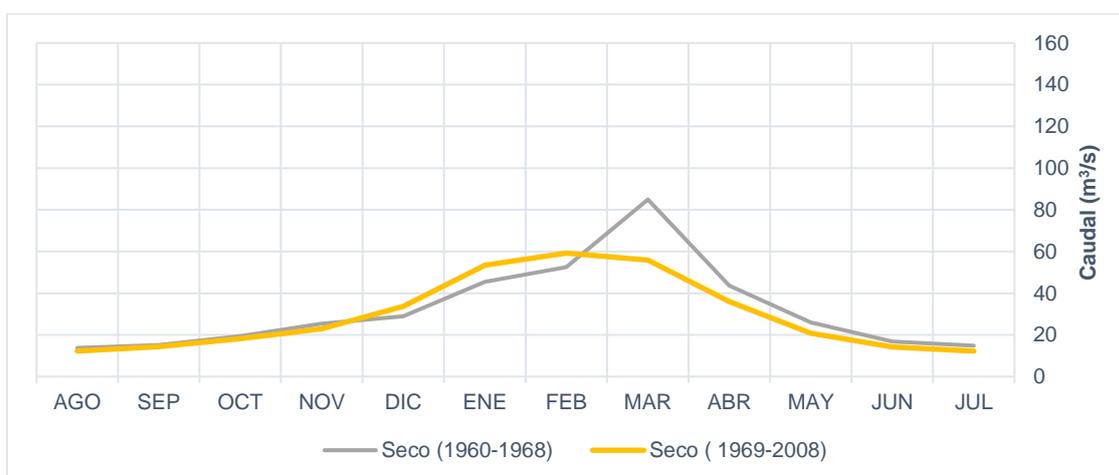


Figura 8.4. Caudal medio mensual de un año seco en la estación Yanapampa

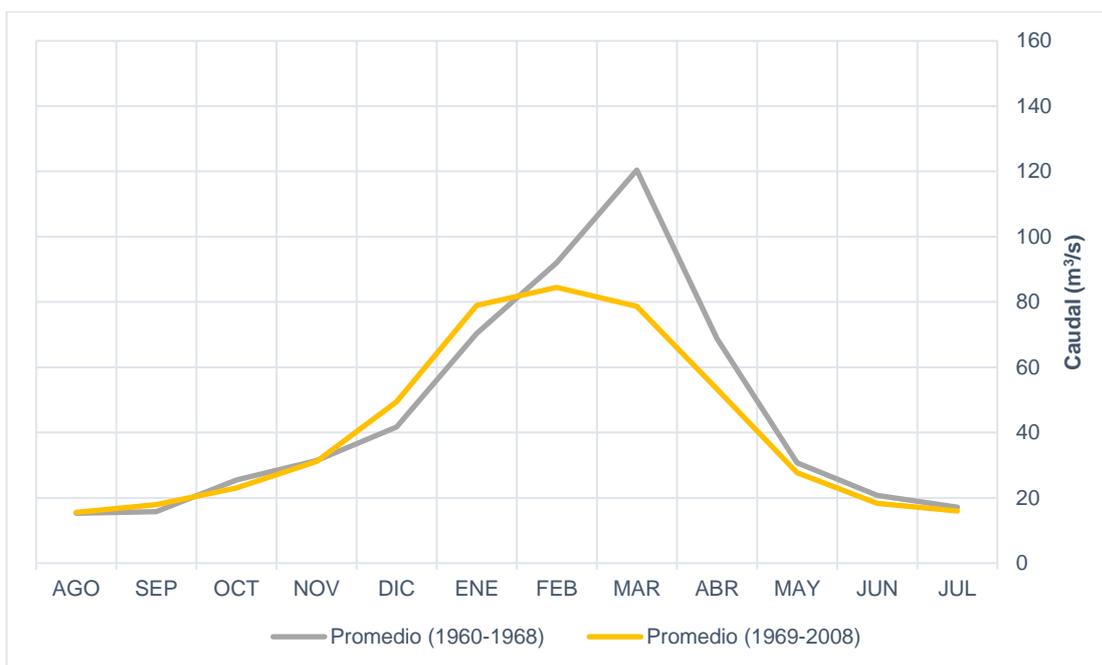


Figura 8.5. Caudal medio mensual de un año promedio en la estación Yanapampa

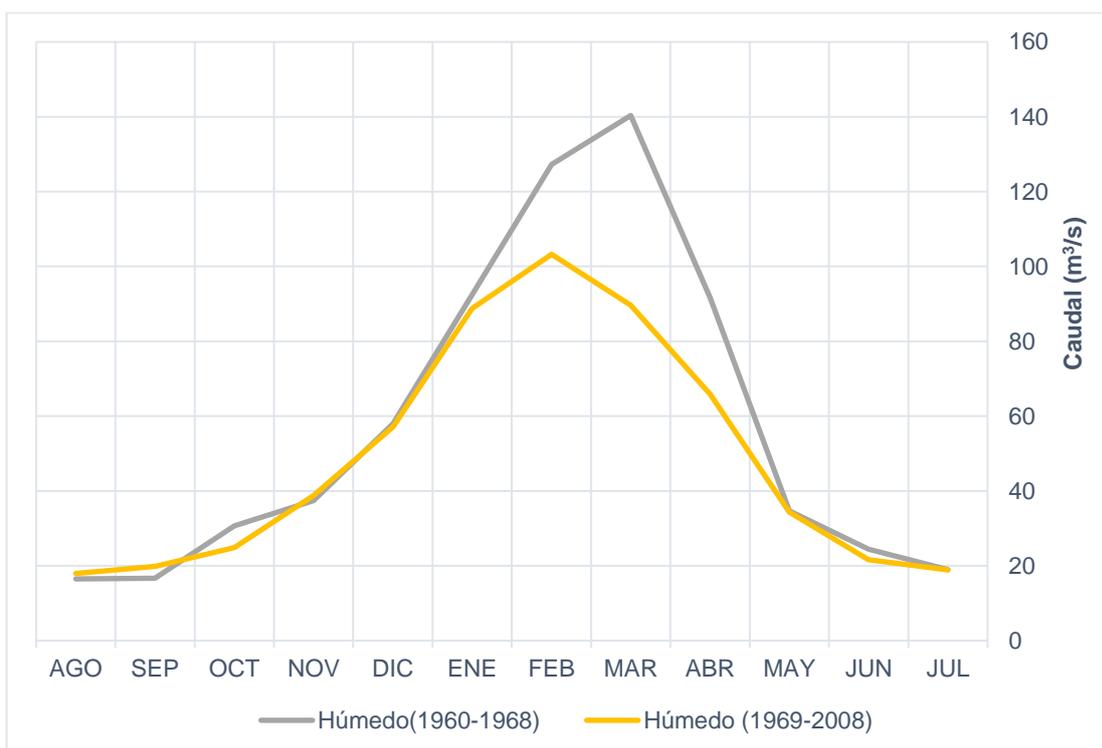


Figura 8.6. Caudal medio mensual de un año húmedo en la estación Yanapampa

Como se puede apreciar en la Figura 8.4 y 8.5 y 8.6 entre los meses mayo a noviembre los caudales mensuales presentan un rango de valores y comportamiento similar; sin embargo, entre los meses de enero a abril la diferencia fue más marcada, con valores medios mayores entre los años 1960 al 1968 (antes de la regulación de la Laguna Viconga); asimismo, los valores en esa temporada para los años 1969 al 2008 tienden a normalizarse sin picos característicos comparados antes del año 1968.

Para analizar la variabilidad estacional del régimen hidrológico se estimó la precipitación a partir del producto PISCO³¹ (software de modelación de precipitaciones del Ing. Waldo Lavado, Senamhi) para la cuenca alta y media. La precipitación total anual varía en función de la altitud, registrándose entre 290 mm a 737 mm en la parte alta de la cuenca y de 193 mm a 669 mm en la parte media (Figura 8.1). Entre los meses de diciembre a marzo se presentan el mayor porcentaje de precipitaciones «temporada húmeda», los meses de junio a setiembre se conoce como la «temporada seca» y los meses de octubre-noviembre y abril corresponde a «períodos de transición».

En la Figura 8.7 se muestra la variación mensual de precipitación histórica (1981-2016) de la parte alta y media de la cuenca del río Pativilca.

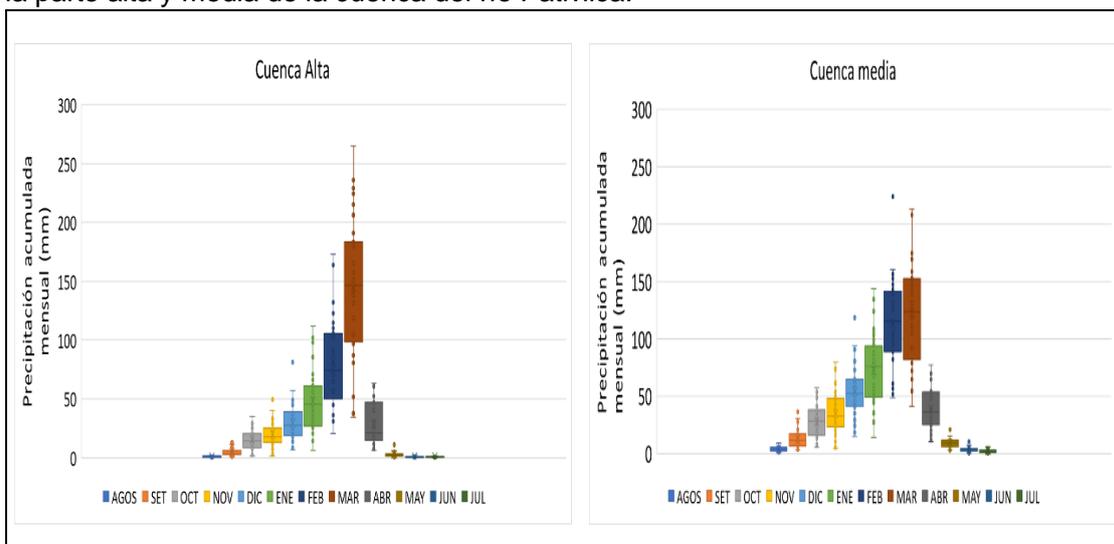


Figura 8.7. Variación de precipitación total mensual histórica (1981-2016)

Fuente: Lavado, 2016

Es así, que el régimen de precipitación (Figura 8.7) se caracteriza por presentar el mayor porcentaje de precipitación en el mes de marzo; sin embargo, los mayores de caudales son registrados en el mes de febrero a excepción de algunos valores atípicos en el mes de enero (Figura 8.8). Asimismo, se aprecia que los meses de junio a agosto registran las menores precipitaciones en la cuenca alta, y el rango de caudales entre máximos, mínimos y medias que da entre agosto, setiembre, junio y julio no muestra variación significativa.

³¹ El producto PISCO fue generado a partir de 681 estaciones pluviométricas en el Perú, en el marco de la Meta de Desarrollo de investigación Aplicada para la Gestión de Riesgo de Desastres-PREVAED que ejecuta la Dirección de Hidrología del Senamhi.

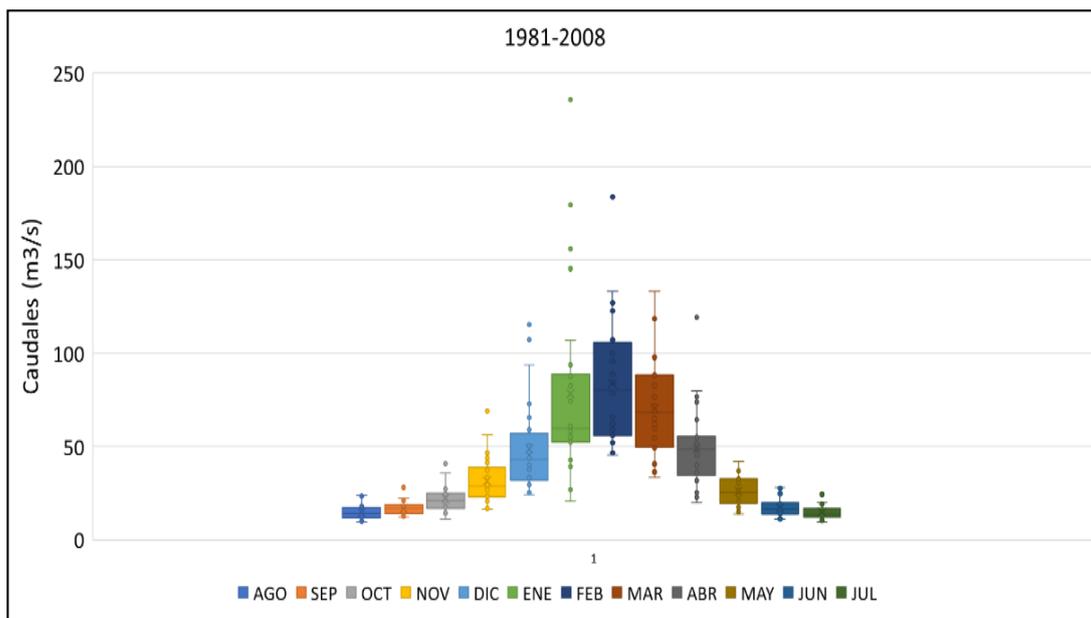


Figura 8.8. Hidrograma de caudales históricos en la estación Yanapampa I (1981-2008)

El régimen de descargas de caudales diarios registrados en la estación Yanapampa I³² (puente Yanapampa) presenta a nivel diario variaciones de caudal con un coeficiente de variación entre 2 % y 25 % y de igual forma la producción de energía a nivel diario tiene un coeficiente de variación de hasta un 30 % entre enero y mayo y de hasta 12 % entre junio a diciembre (Figura 8.9), por lo que, la zona II (caudal reducido) tiene similar coeficiente de variación de caudales diarios. Asimismo, de acuerdo a los registros de caudales medidos en campo en la UHM (unidades hidromorfológicas) por zonas durante la evaluación en los meses de junio, julio, setiembre y octubre y cuyo registro de mediciones se encuentran en el Anexo 12 (Geometría Hidráulica) se resalta que en la zona II los caudales son inferiores al caudal ecológico calculado por la ANA³³; con variaciones de caudal en la zona I y III debido a la irregularidad de las secciones por lo cual se ha normalizado estos valores con un valor medio.

³² Ubicada en el puente Cahua, aproximadamente a 2 km del centro poblado del mismo nombre y 5km de punto de descarga de aguas turbinadas de la C.H. Cahua.

³³ ANA (2015). Autoridad Nacional del Agua. Evaluación de los Recursos Hídricos en la Cuenca del Pativilca. 600pp. Perú.

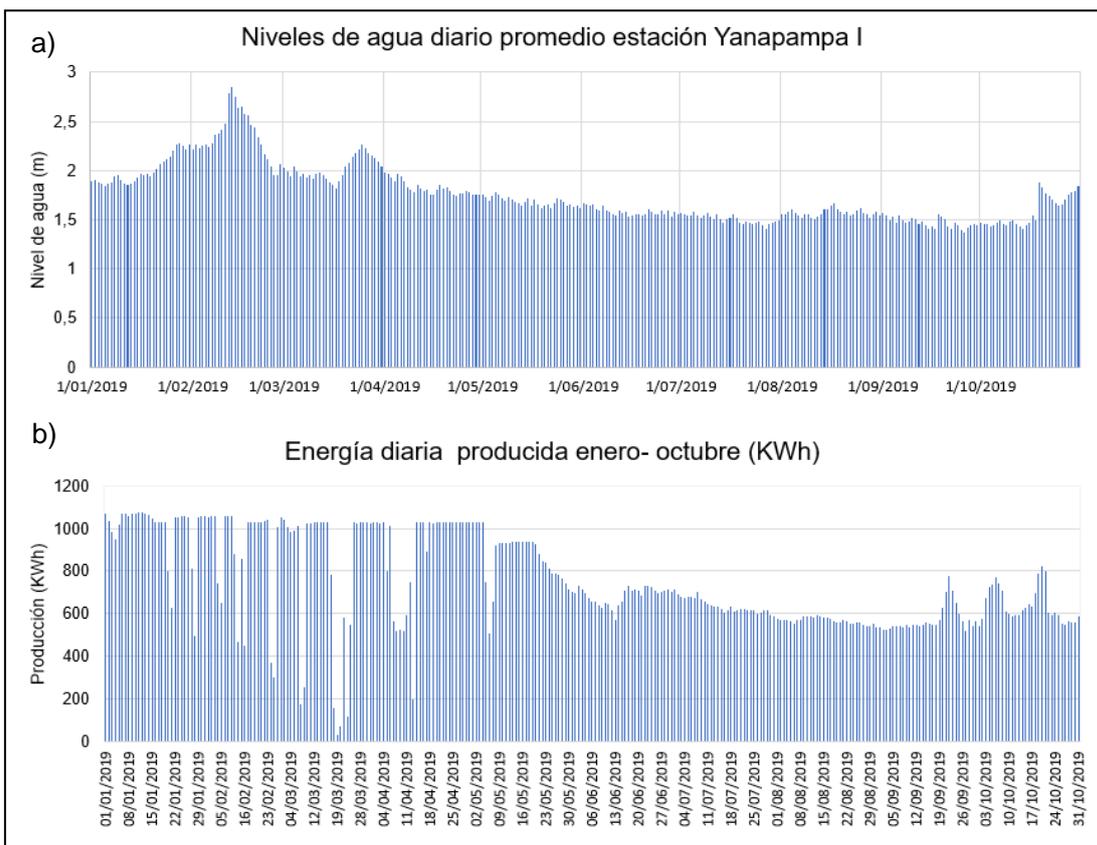


Figura 8.9. Hidrograma a) Niveles registrados en la estación Yanapampa I b) Producción en de energía C.H. Cahua.

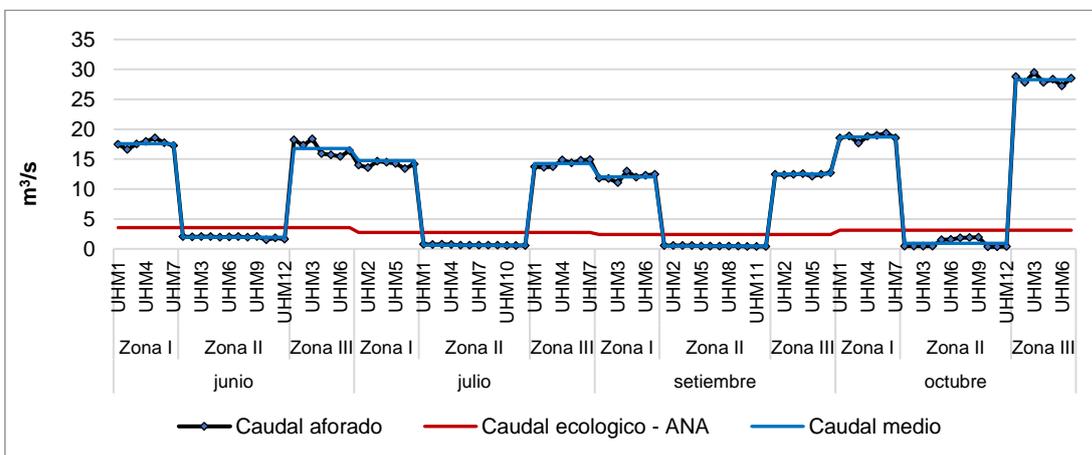


Figura 8.10. Hidrograma de caudales diarios aforados durante la evaluación 2019

Lo descrito se corrobora con el análisis de alteración hidrológica realizado por la ANA en el 2015 en el informe de evaluación de los recursos hídricos en la cuenca del río Pativilca, donde desarrollo el análisis de alteración hidrológica a partir del software IAHRIS³⁴ (índice de alteración hidrológica en ríos) a partir de series mensuales de caudales (1065-2013). Los rangos de clasificación cualitativa de los índices globales se indican en la Figura 8.11.

³⁴ Desarrollado por los profesores de la EUIT, Dirección General de Aguas y el CEDEX. EL IAHRIS permite caracterizar el régimen hidrológico tanto natural como alterado.

1	2	3	4	5
Excelente	Bueno	Moderado	Deficiente	Muy deficiente
$0,64 < IAG \leq 1$	$0,36 < IAG \leq 0,64$	$0,36 < IAG \leq 0,16$	$0,16 < IAG \leq 0,04$	$0 < IAG \leq 0,04$

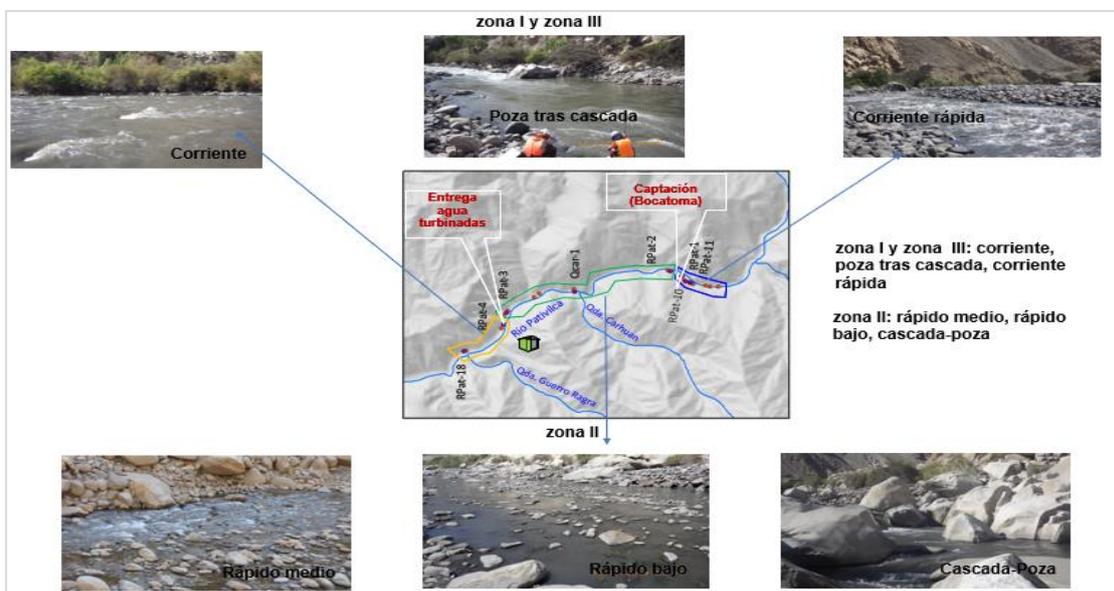
Figura 8.11. Clasificación cualitativa de los índices globales

Fuente: ANA (2015) pp.441.

Para el caso de la Laguna Viconga obtuvieron un IAG de 0,58 «bueno» (no alterado); Pativilca en C.H. Cahua obtuvo un IAG de 0,97 excelente y posterior al tramo de la C.H. Cahua se obtuvo 0,42 «bueno», el análisis para todo el río Pativilca obtuvo un coeficiente IAG de 0,21 lo que indica una alteración IAHRIS moderada. La cuenca baja media y baja presenta mayores alteraciones respecto a la parte alta debido al incremento de demandas y captaciones.

Comunidades hidrobiológicas

Respecto a la evaluación de comunidades hidrobiológicas, la reducción de caudal en la zona II genera condiciones hidromorfológicas diferentes de las zonas I y III (Figura 8.12). Las unidades hidromorfológicas de la zona II se caracterizan por presentar una menor velocidad, profundidad y ancho mojado (Figura 7.84, 7.85 y 7.88) en comparación con la zona I y III; dichas características conducen procesos vinculados con las comunidades hidrobiológicas, las cuales son explicadas a continuación.

**Figura 8.12.** Condiciones hidromorfológicas de las zonas evaluadas

En el caso de perifiton, uno de los factores que origina la diferencia entre las zonas evaluadas es los sólidos totales en suspensión. En los tres meses evaluados, los sólidos totales en suspensión son menores en la zona II, con excepción del punto de muestreo RPat-2 en julio de 2019. Las altas velocidades de la zona I y III (Figura 7.88) generan el arrastre de partículas que contribuyen con el incremento de los sólidos totales en suspensión. Esta dinámica de la velocidad y los sólidos totales en suspensión está asociada a procesos de erosión, transporte y sedimentación, con la predominancia de un proceso sobre otro (Ollero y Romeo, 2007) dependiendo de la temporada e intensidad de

la precipitación. Otro factor limitante en la comunidad de perifiton, cuyas diferencias son notorias entre las zonas es la turbidez (Figura 7.82), en particular en los meses de junio y setiembre. La disminución de la turbidez en la zona II está directamente relacionado a la menor cantidad de sólidos totales en suspensión encontrados ahí (Figura 7.83).

En la Figura 8.13 se aprecia la relación inversa de los sólidos totales en suspensión con la comunidad de perifiton. Esta relación, es más notoria en términos de abundancia (organismos/cm²). Nótese como la zona de caudal reducido presenta menos sólidos totales suspendidos y una mayor cantidad de organismos/cm², a diferencia de la zona I con una mayor cantidad de sólidos totales suspendidos y una menor cantidad de organismos/cm². Esta relación inversamente proporcional entre la abundancia de perifiton con los sólidos totales suspendidos ha sido demostrado por De la Parra y Rodelo (2012). La consecuencia *per se* de los sólidos totales suspendidos sobre la comunidad de perifiton puede ser atribuible al efecto abrasivo de las partículas suspendidas en el sustrato, que frenan la colonización de perifiton (Pizarro y Vinocur, 200) y a la limitada penetración de la luz en la columna de agua debido a la turbidez (Sánchez *et al.* 2010).

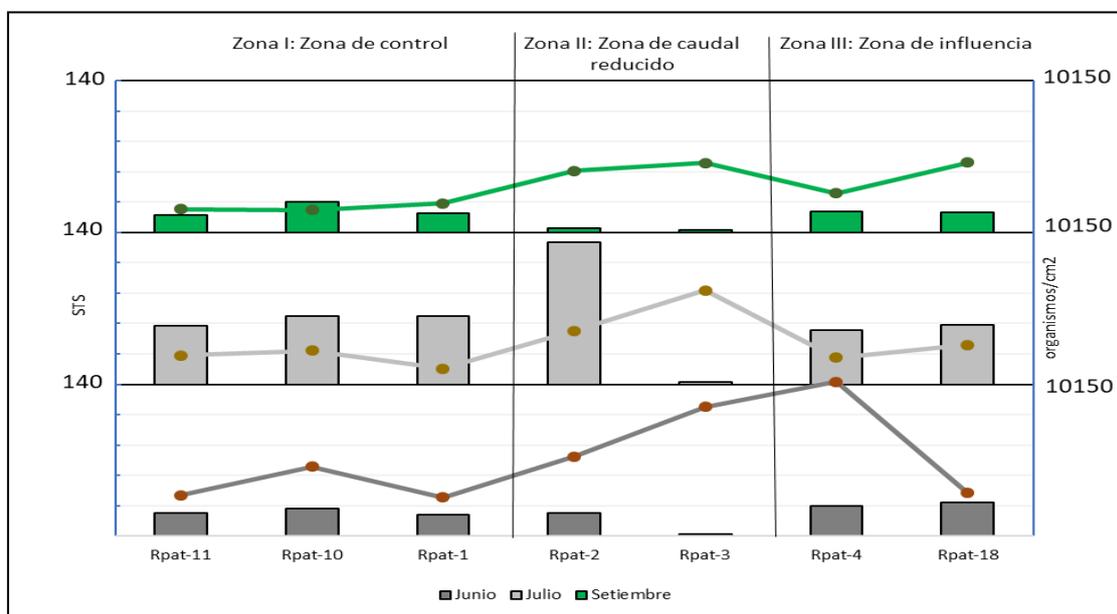


Figura 8.13. Relación sólidos totales suspendidos (barras) con abundancia de comunidad de perifiton (líneas)

En el caso de los macroinvertebrados bentónicos, la facilidad del muestreo en la zona II fue un factor importante. La zona II (zona de caudal reducido) permite la fácil remoción de cantos rodados, en cambio, los boulder (rocas grandes) encontrados en las zonas I y III no pudieron ser removibles (Figura 8.14) con facilidad. Esto sumado a una mayor cantidad de caudal, dificultaron el muestreo en las zonas I y III por lo cual la colecta de macroinvertebrados bentónicos fue hecha superficialmente en las rocas expuestas de estas zonas, en la mayoría de los casos. Además, las condiciones de alta velocidad en las zonas I y III pueden generar una alta mortalidad de taxones debido al arrastre del agua (Jacobsen y Encalada, 1998). Esta combinación de características condiciona para que haya una menor cantidad de organismos en las zonas I y III.

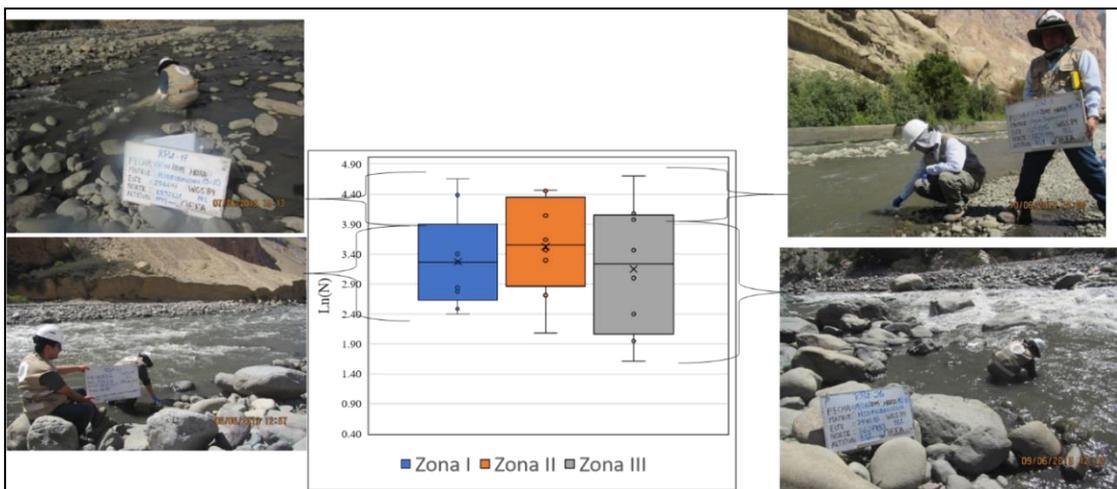


Figura 8.14. Diferencia de las abundancias por zonas

En las zonas I y III se presentaron algunas áreas muy factibles para el muestreo, caracterizado por brazos del río adyacente al cauce principal (Figura 8.14), generando que estas porciones del río tengan características similares encontradas a la zona II (menor velocidad y profundidad), esto puede explicar porque la abundancia media de la zona III fue muy cercana al de la zona II durante setiembre 2019 (Figura 7.51). Otra característica para explicar la riqueza y abundancia de los macroinvertebrados es la incrustación: Los cantos rodados con poca incrustación generan una mayor área para que los macroinvertebrados colonicen, ya que estos pueden ocupar los espacios generados entre el canto rodado y la superficie del río (Waters, 1995; Raymond, 2001). Por otro lado, los cantos rodados que están más incrustados reducen esta área de manera significativa (Wood y Armitage, 1997). Esta reducción del hábitat para macroinvertebrados bentónicos se ve reflejado posteriormente en su riqueza y abundancia. Sin embargo, a pesar de que la zona II tuvo la presencia de cantos incrustados (Figura 7.89), en particular en setiembre de 2019, la zona II presentó una mayor riqueza y abundancia en comparación con la zona I. Uno esperaría que la zona II tuviera menor incrustamiento debido a una menor cantidad de sólidos totales en suspensión (Fitzspatrick y Giddings, 1997), sin embargo, ocurre lo opuesto, indicando que el proceso de deposición fue más predominante que el de erosión durante setiembre de 2019 particularmente.

A pesar del régimen hidrológico tan variable en de la zona II, los valores del ABI son superiores al «muy bueno». En un estudio de caudal ecológico para el río Pita en Ecuador de SGCA *et al*, 2011, se registraron valores de ABI críticos posteriores a la captación, donde el caudal remanente sólo permitía la formación de áreas con baja profundidad y nula velocidad. En este estudio, la zona de caudal reducido no tiene una gran área de velocidad nula, sino que tuvo muchas zonas de rápidos alternando con pozas (Figura 8.12). Esto se refleja en la cantidad de familias por grupo del índice LIFE (Figura 7.54), la zona de caudal reducido presentó familias con preferencias a rápidos y familias con preferencias a pozas, mientras que la zona I y III, las familias con preferencias a pozas fueron menores o nulas.

Respecto a la abundancia de camarones esta fue mucho mayor en la zona de caudal reducido, en particular en setiembre 2019. Según Bocardo (2017), la condición óptima del hábitat del camarón es una velocidad media de 0,54 m/s con una profundidad de 0,57 m. En el tramo de caudal reducido (zona II), la existencia de estas condiciones fue mucho mayor en comparación con la zona control (zona I) y de influencia (zona III). Bocardo, 2017 menciona, además, una mayor cantidad de camarones encontrados en cantos rodados a diferencia de los «boulder». Los parámetros de la relación longitud-peso de los machos



estuvo muy cercano a lo registrado en otro río costero, por ejemplo, el río Cañete (Wasiw y Yepez, 2017), mostrando la similaridad de crecimiento del camarón en estos ríos.

Desde la perspectiva del método utilizado en la presente evaluación ambiental, el cambio, del hábitat (meso hábitat) se define como el conjunto de características del hábitat hidráulico, limnológicos y de aquellos atributos que proveen refugio y que crean condiciones favorables para la supervivencia y desarrollo de una especie determinada (Parasiewicz, 2007). Así, el régimen alterado actúa sobre las características particulares de una zona determinada que las modula desde una perspectiva jerárquica y de su dinámica (Pringle 1988, 2003), configurando así, zonas de dinámicas ecohidrológicas distintas.

Desde esta premisa, se hizo necesario el análisis individual tanto de las zonas sujetas a regulación (zona II), zona que funcionarían como control (zona I) y de influencia (zona III), debiendo considerarse que *Cryphiops caementarius*, como especie altamente especializada y generalista aprovecha de manera diferencial las condiciones de un determinado hábitat, lo cual no deja de lado, que ciertas condiciones le sean más favorables para expresar su potencial biótico.

El modelo obtenido para la zona III se aproxima a condiciones no alteradas. *Cryphiops caementarius* maximiza el aprovechamiento del hábitat disponible en caudales cercanos a 10 m³/s donde registran bajas concentraciones de sólidos en suspensión y turbidez permitiendo que la vegetación sumergida actúe como variable de esta zona.

Para el caso del modelo obtenido en la zona II este se reduce drásticamente para caudales cercanos 5m³/s (Figura 7.103); sin embargo, debido al régimen hidrológico regulado en esta zona por la dinámica de producción de la C.H. Cahua, variable tanto a nivel diario como horario; los valores de caudales mayores a 2 m³/s solo se registran cuando hay a menor producción de C.H Cahua, principalmente durante el período de transición y avenida (enero-marzo y abril-junio) período en que la concentración de sólidos suspendidos y turbidez son mayores lo que genera que a pesar de haber mayor área disponible no existe mayor hábitat disponible, diferente a lo ocurrido en la zona III. Esto se contrasta con la característica en río costeros donde las condiciones de productividad primaria y por ende disponibilidad de alimentos se ve restringida (Mariazza *et al*, 2006).

Para el caso de la zona I el modelo de hábitat registró la variabilidad estacional de las condiciones hidráulicas influenciadas por el régimen hidrológico. En esta zona, el mayor porcentaje de habitabilidad se registró en el menor caudal registrado (13,70 m³/s), temporada en que las variables retenidas en la función de preferencia (ancho promedio, velocidad mediana y profundidad cuartil 5) tuvieron sus menores valores. A diferencia de la zona III, la zona I presentó a lo largo del período de estudio mayor ancho promedio y mayor profundidad promedio. Desde una perspectiva geomorfológica, presentó un área más confinada y pocas áreas donde el río pueda desbordar con ligeros incrementos de caudal. Así, las áreas someras y rápidas (shallow fast) que fue la principal variable de hábitat retenida en la función de preferencia de la zona III, no fue frecuente en la zona I.

De las 3 zonas evaluadas, la zona III obtuvo una curva de hábitat usado en función del caudal, similar a trabajos como Veza *et al.*, 2012, donde el hábitat usado incrementa hasta un determinado valor de caudal, para continuar en declive a valores excesivos de caudal (hábitat no aprovechable). Razón por la cual, se tomó como referencia el modelo de dicha zona para determinar el caudal ecológico (Figura 8.15), asumiendo una reducción de las variables determinantes en la zona II como los sólidos totales en suspensión, los cuales están ligados a la variabilidad hidrológica generada por la producción de la C.H. Cahua.

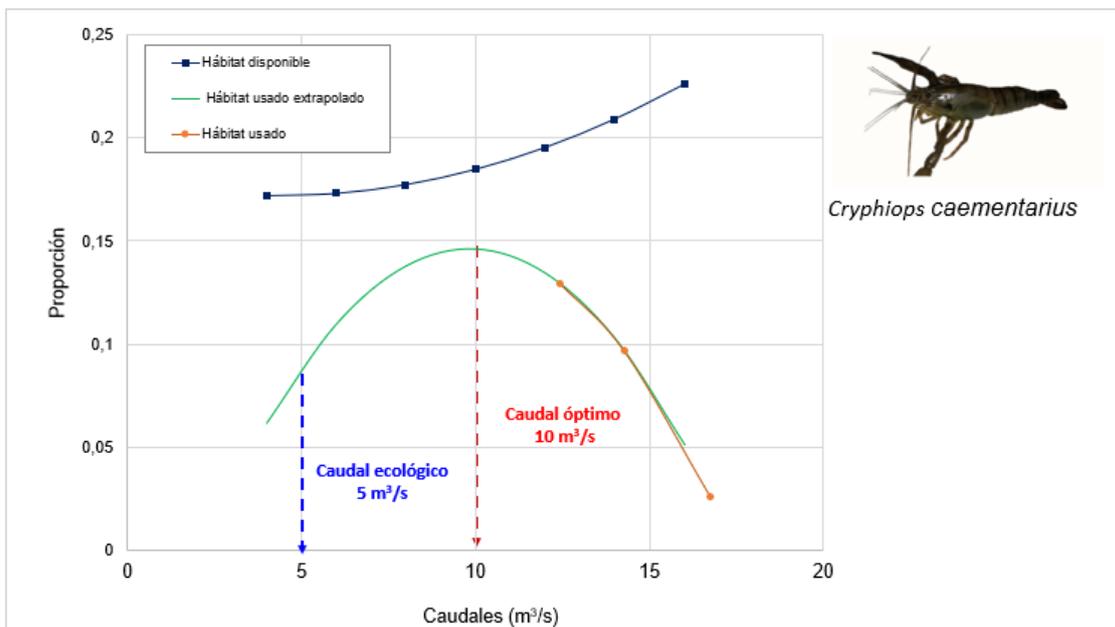


Figura 8.15. Porcentaje de hábitat o área versus caudal

En la Figura 8.15 se aprecia el comportamiento del porcentaje de hábitat usado por *Cryphiops caementarius* en función del caudal, siendo el caudal ecológico el 60 % del caudal óptimo según ECOFLOW (2019); para este estudio se definió un porcentaje de 50 %, el cual se encuentra en el rango de moderado a bueno, siendo equivalente a $5 \text{ m}^3/\text{s}$. Dicho valor difiere del estimado por la ANA, 2015 ya que su estimación fue realizada utilizando solo métodos hidrológicos.

Cabe precisar que los registros de caudales durante la evaluación en la zona II estuvieron entre $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ a $2,0 \text{ m}^3/\text{s}$, registros por debajo del caudal ecológico estimado por la ANA, sin embargo, se debe precisar que la C.H Cahua no cuenta con compromiso de caudal ecológico.

La variabilidad hidrológica de la zona II (Figura 8.9), puede generar mortalidad de otras especies, que no fueron consideradas en este estudio. Lowe *et al.* 2019 identificaron que la variabilidad hidrológica redujo la supervivencia de la fase de metamorfosis de una especie de salamandra. Esta variabilidad hidrológica repentina puede causar perturbaciones en el medio, desestabilizando los hábitats ya formados (Armitage, 1978).



9. CONCLUSIONES

La presente evaluación abarcó el área de influencia de la C.H. Cahua y el río Pativilca el cual se caracteriza por tener un sistema regulado en toda la cuenca, la evaluación fue dividido en 3 zonas: zona I «zona de control» antes de la captación de agua de la C.H. Cahua, zona II «zona de caudal reducido» entre la captación y punto de restitución de agua turbinada y zona III «zona de influencia» tramo después de la restitución de agua turbinada); realizando en dichas zonas monitoreos de agua superficial, sedimento, comunidades hidrobiológicas, mediciones hidráulicas de unidades hidromorfológicas (UHM) y colecta de camarones. Asimismo, para determinar el caudal ecológico se utilizó el modelo de uso de hábitat MesoHABSIM el cual depende de la disponibilidad y preferencia de unidades hidromorfológicas. Cuyas conclusiones se detallan a continuación:

- i. Según el modelo holístico MesoHABSIM, el valor del caudal ecológico para la especie *Cryphiops caementarius* «camarón de río» es de 10 m³/s para una condición óptima y para una condición de moderado a bueno es de 5 m³/s. Con este caudal se mejoraría las condiciones de habitabilidad del camarón encontradas en la Zona II, «zona de caudal reducido», donde se registraron caudales entre 0,5 y 2 m³/s.
- ii. En las 3 zonas evaluadas se registraron una distribución heterogénea de *Cryphiops caementarius* (1,5 a 16 cm) resaltando mayor abundancia en la zona II, la misma que se ve favorecida por la disminución del ancho del cauce y la mayor área porcentual de áreas someras, canto rodado y la presencia de vegetación sumergida; asimismo, se debe precisar que en esta zona se registró el mayor contenido de sólidos suspendidos, variable condicionante para la productividad del camarón de río.
- iii. El comportamiento de los parámetros fisicoquímicos e inorgánicos evaluados en las 3 zonas y meses evaluados fueron similares a excepción de los sólidos totales suspendidos, que presentó mayores concentraciones en la zona II; sin embargo, ninguno de ellos excedió los estándares de calidad ambiental (ECA) para Agua (2017), Categoría 3, a excepción del potencial de hidrógeno (pH) que estuvo por encima del estándar en las 3 zonas evaluadas.
- iv. Las concentraciones de metales en sedimento en las 3 zonas evaluadas no registraron variaciones significativas espacialmente, pero registraron cambios a nivel temporal asociados a la granulometría. Adicionalmente, se registraron concentraciones de arsénico que excedieron referencialmente los valores PEL Estándares de la Guía de Calidad Ambiental de Canadá–CEQG en las 3 zonas evaluados; además del cadmio y zinc en la zona II, que excedieron dicho estándar.
- v. Los sólidos totales suspendidos explicaron en parte la abundancia total de la comunidad de perifiton, limitando en algunos casos, su desarrollo por el efecto abrasivo de este. La comunidad de macroinvertebrados bentónicos presentó diferencias entre las zonas a nivel de abundancia, en particular en los meses de junio y julio 2019. La zona II, a pesar de tener valores altos de incrustamiento tuvo una mayor abundancia de macroinvertebrados bentónicos. Estos valores de abundancia estuvieron relacionados a los valores bajos de velocidad registrados en este tramo, los cuales reducen el desprendimiento de macroinvertebrados bentónicos, en comparación con la zona I. La velocidad dominante en cada zona se



reflejó en las familias encontradas en el índice LIFE, caracterizando a la zona II con la presencia de familias de preferencia a hábitats de escasa velocidad.

10. ANEXOS

- Anexo 1: Mapas de ubicación de puntos de muestreo ambiental
- Anexo 2: Reporte de campo N.º 0335-2019-SSIM
- Anexo 3: Reporte de campo N.º 0336-2019-SSIM
- Anexo 4: Reporte de campo N.º 0432-2019-SSIM
- Anexo 5: Reporte de resultados N.º 0339-2019-SSIM
- Anexo 6: Reporte de resultados N.º 0413-2019-SSIM
- Anexo 7: Reporte de resultados N.º 0441-2019-SSIM
- Anexo 8: Reporte de campo N.º 0500-2019-SSIM
- Anexo 9: Reporte de resultado N.º 0509-2019-SSIM
- Anexo 10: Informes de identificación taxonómica C.H. Cahua
- Anexo 11: Procesamiento de datos
- Anexo 12: Geometría Hidráulica
- Anexo 13: Identificación de macrobentos bentónicos en C.H. Yanapampa
- Anexo 14: Lista de colecta de camarones y peces
- Anexo 15: Parámetros fisicoquímicos y de campo por UHM

11. BIBLIOGRAFÍA

Acosta, R., Ríos, B., Rieradevall, M. y Prat, N. (2009). Propuesta de un protocolo de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA) y su aplicación a dos cuencas en Ecuador y Perú. *Limnetica*, 28(1), 35-64.

Arthington, A. H. (2012). Environmental flows: saving rivers in the third millennium (Vol. 4). Univ of California Press.

Autoridad Nacional del Agua. (2015). *Evaluación de los Recursos Hídricos en la Cuenca de Pativilca*. 600pp. Perú. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.12543/00.12543/3>

Ballesteros, E. (2015). Estadística Descriptiva Univariante mediante el gráfico de Caja y Bigotes. Recuperado de <https://eprints.ucm.es/35985/19/EL%20%20GR%C3%81FICO%20%20DE%20%20CAJA.pdf>

Bañón, L., & Beviá, J. F. (2000). *Manual de carreteras (Vol. II: construcción y mantenimiento)*. Universidad de Alicante, San Vicente del Raspeig, España. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10045/1787>

Barua, B. (2018). How to read a boxplot: display of spread distribution. Recuperado de <https://engineering.eckovation.com/read-boxplot-display-spread-distribution/>

Bhattacharya, P. (1967). Efficient estimation of a shift parameter from grouped data. *The Annals of Mathematical Statistics*, 38(6), 1770-1787.

Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine learning*, 45(1), 5-32.

Bovee, K. D., Lamb, B. L., Bartholow, J. M., Stalnaker, C. B., Taylor, J. & Henriksen J. (1998). *Stream habitat analysis using the instream flow incremental methodology*. U.S. Geological Survey, Biological Resources Division information and technology Report USGS/BRD/ITR-1998-0004, 131pp. Recuperado de <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a361209.pdf>



Carrillo, C., Pacora, A., Risco, R., y Zerpa, R. (2012). *Plan estratégico del camaron de río* (Tesis de maestría). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.

Castro, J. (1961). *Algunos peces del río Moche y su distribución vertical* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú.

Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres. (2017). Informe de evaluación de riesgo por lluvias intensas en el centro poblado de Majes, distrito Manás, provincia de Cajatambo, departamento de Lima. Recuperado de: http://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/storage/biblioteca//4120_informe-de-evaluacion-de-riesgo-por-lluvias-intensas-en-el-centro-poblado-de-manas-distrito-de-manas-provincia-de-cajatambo-departamento-de-lima.pdf

Costa S.S. & Melo A.S. (2008). Beta diversity in stream macroinvertebrate assemblages: among-site and amongmicrohabitat components. *Hydrobiologia*, 598(1), 131-138. doi: 10.1007/s10750-007-9145-7

Chura-Cruz, R., Anahua-Larico, I. D. y Ninarauqui-Lupaca, H. F. (2018). Longitud promedio de madurez sexual y época de desove del mauri *Trichomycterus dispar* en el lago Titicaca, sector peruano. *Ciencia Pesquera*, 26(1), 21-28.

CVC. (2004). Informe Final Caracterización del río Cauca tramo Salvajina-La Virginia. Proyecto Modelación del Río Cauca: Vol. 1. Universidad del Valle-Corporación Autónoma Regional del Valle de Cauca, Cali, Colombia.

Dávila, F. (1973). Peces de agua dulce de la provincia de Trujillo. *REBIOL*, 2(2), 203-229.

De la Parra, A. C. y Rodelo, K. J. (2012). Composición y abundancia de la comunidad de algas perifíticas del Río Cesar asociado a variables físico-químicas e hidrológicas durante los meses de febrero-setiembre del año 2011 (Tesis de pregrado). Universidad del Atlántico, Barranquilla, Colombia.

Dolloff, C., Jennings, H., & Owen, M. (1997). A comparison of basinwide and representative reach habitat survey techniques in three southern Appalachian watersheds. *North American Journal of Fisheries Management*, 17(2), 339-347.

Dominguez, E. y Fernández, H. (2009). Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos: Sistemática y biología.

Dyer, B. (2006). Systematic revision of the South American silversides (Teleostei, Atheriniformes). *Biocell*, 30(1), 69-88.

Dyson, M., Bergkamp, G., & Scanlon, J. (2003). Flow: The essentials of environmental flows.

Environmental Protection Agency. (2006). *Data Quality Assessment: Statistical Methods for Practitioners*. Office of Environmental Information, Whashington, DC 20460.

Espinoza, JC. (2003). *Determinación del Gasto Sólido Total y Calibración del Gasto Sólido de Fondo Mediante los Métodos de H.A. Einstein y Meyer Peter & Müller, para el río Sama, Región Tacna* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

Fowler, H. W. (1945). *Los peces del Perú, Catalogo sistemático de las especies que habitan en aguas peruanas*. Museo de Historia natural, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú. 298 pp.



Fitzpatrick, F. & Giddings, E. (1997). *Stream habitat characteristics of fixed sites in the western Lake Michigan drainages, Wisconsin and Michigan, 1993-95*. U.S. Geological Survey, Water-Resources Investigations Report. doi:10.3133/wri954211B.

Freeman, E. A., & Moisen, G. G. (2008). *A comparison of the performance of threshold criteria for binary classification in terms of predicted prevalence and kappa*. *Ecological Modelling*, 217(1-2), 48-58.

Geladi, P., Manley, M., & Lestander, T. (2003). Scatter plotting in multivariate data analysis. *Journal of Chemometrics*, 17(8-9), 503-511. doi:10.1002/cem.814.

González, J. M. (2010). *Contribución al conocimiento del erizo de mar *Paracentrotus lividus*: ciclo gonadal y dinámica poblacional*. Universidad de Cantabria, Santander, España.

Guay, J. C., Boisclair, D., Rioux, D., Leclerc, M., Lapointe, M., & Legendre, P. (2000). Development and validation of numerical habitat models for juveniles of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 57(10), 2065-2075.

Hardy, T. B., & Addley, R. C. (2001). Vertical integration of spatial and hydraulic data for improved habitat modelling using geographic information systems. *IAHS-AISH PUBL.*, (266), 65-76.

Harrelson, C. C., Rawlins, C. L., & Potyondy, J. P. (1994). *Stream channel reference sites: an illustrated guide to field technique*. Gen. Tech. Rep. RM-245. Fort Collins, CO: US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. doi:10.2737/RM-GTR-245.

Hart, P.J. & Reynolds, J.D. (2002). *Handbook of fish biology and fisheries (Vol. 1)*. New York: Blackwell.

Helsel, D. R. (2012). *Statistics for Censored Environmental Data Using Minitab and R*.

Herschy, R. W. (2008). *Streamflow measurement*. CRC Press.

Huizinga, R.J. (2016). *Bathymetric and velocimetric surveys at highway bridges crossing the Missouri River near Kansas City, Missouri, June 2-4, 2015*. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2016-5061.

Jacobsen, D. & Encalada A. (1998). The macroinvertebrate fauna of Ecuadorian high-land streams in the wet and dry season. *Archiv fur Hydrobiologie*, 142(1), 53-70.

Jiménez-Valverde, A. y Hortal, J. (2003). Las curvas de acumulación de especies y la necesidad de evaluar la calidad de los inventarios biológicos. *Revista Ibérica de Aracnología*, 8, 151-161.

Jowett, I. (1997). Instream flow methods: a comparison of approaches. *Regulated Rivers*, 13, 115-127.

Kannel, P. R., Lee, S., Kanel, S. R., & Khan, S. P. (2007). Chemometric application in classification and assessment of monitoring location of an urban river system. doi:10.1016/j.aca.2006.09.006.

Kowalkowski, T., Zbytniewski, R., Szejna, J., & Buszewski, B. (2006). Application of



chemometrics in river water classification. *Water Research*, (40), 744-752. doi:10.1016/j.watres.2005.11.042.

Lampert, W. & Sommer, U. (2008). *The Ecology of Lakes and Streams*. Journal of plankton research 2nd edition. Oxford: Oxford University Press, 2007, 324 pp. ISBN ISBN-13: 9780199213931

Lavado-Casimiro, W. S., Aybar, C., Huerta, A., Sabino, E., Zevallos, J. & Felipe-Obando O. (2016). Generación de datos grillados de precipitación diaria (PISCO Pd 1981-2015) y su utilidad para la estimación de umbrales de precipitaciones máximas. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). Estudio de la Dirección de Hidrología.

Lowe, W. H., Swartz, L. K., Addis, B. R. & Likens, G. E. (2019). Hydrologic variability contributes to reduced survival through metamorphosis in a stream salamander. *PNAS*, 116(39), 19563-19570.

Lyons, J. (1992). The length of stream to sample with a towed electrofishing unit when fish species richness is estimated. *North American Journal of Fisheries Management*, 12(1), 198-203.

Magurran, A. E. (1988). *Ecological diversity and its measurement*. Princeton University Press, New Jersey, 179 pp.

Mariazza, J., Burger, L., Arenas, J., Burger, H., & Barrientos, J. (2006). Ecología del río Lurín en la zona de su desembocadura y su importancia médica. (Oct 2006) v. 28 (143) p. 28-37.

Meador, M. R. (1993). Methods for characterizing stream habitat as part of the National Water-Quality Assessment Program (Vol. 93, No. 408). US Geological Survey.

Meals, D. W., & Dressing, S. A. (2008). Surface water flow measurement for water quality monitoring projects. Tech Notes, 3. Recuperado de <https://www.epa.gov/polluted-runoff-nonpoint-source-pollution/nonpointsourcemonitoring-technical-notes>.

Metz, C. E. (1986). ROC methodology in radiologic imaging. *Investigative radiology*, 21(9), 720-733.

Moreno, C. E. (2001). Métodos para medir la biodiversidad. *M&T - Manuales y Tesis SEA*, 1, 84. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0103709>

Muñoz, C. (2017). Ecología trófica del pejerrey de río *Basilichthys semotilus*, cope 1874 (Atheriniformes: Atherinopsidae) en la cuenca baja del río Chillón - Lima, periodo setiembre - diciembre 2016 (Tesis de pregrado). Recuperado de <http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/cybertesis/7433>

Ollero A. y Romeo R. (2007). *Las Alteraciones Geomorfológicas de los Ríos*. Documento presentado en la Estrategia Nacional de Restauración de Ríos del Ministerio del Ambiente y la Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado de https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/delimitacion-y-restauracion-del-dominio-publico-hidraulico/Alteraciones_Geomorfológicas_de_rios_tcm30-136698.pdf

Ortega, H., Hidalgo, M., Trevejo, G., Correa, E., Cortijo, A. M., Meza, V. y Espino, J. (2012). *Lista anotada de Peces de aguas continentales del Perú: Estado actual del conocimiento, distribución, usos y aspectos de conservación*. Segunda edición. Ministerio del Ambiente - Museo de Historia Natural, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima. pp 14-16.



[ISBN 978-612-16053-2-1]

Parasiewicz, P., Gortázar, J., Sánchez, M. M., y De Jalón Lastra, D. G. (2009). MesoHABSIM: una herramineta eficaz para la gestión de ríos y cuencas fluviales. *Tecnología del agua*, 20-26.

Parasiewicz, P. (2007). The MesoHABSIM model revisited. *River Research and Applications*, 23(8).

Parasiewicz, P., & Dunbar, M. (2001). Physical habitat modelling for fish-a developing approach. *Archiv für Hydrobiologie. Supplementband*, 12(2-4), 239-268.

Parasiewicz, P. (2001). MesoHABSIM: A concept for application of instream flow models in river restoration planning. *Fisheries*, 26(9), 6-13.

Payne, T. R., Eggers, S. D., & Parkinson, D. B. (2004). The number of transects required to compute a robust PHABSIM habitat index. *Hydroécologie appliquée*, 14, 27-53.

Payne, T. R. (2003). The concept of weighted usable area as relative suitability index. *In IFIM users workshop*, 1-5.

Pizarro, H. & Vinocur, A. 2000. Epilithic biomass in an outflow stream at Potter Peninsula, King George Island, Antarctica. *Polar Biology*, 23, 851-857.

Pearce, J. and Ferrier, S., 2000. Evaluating the predictive performance of habitat models developed using logistic regression. *Ecological modelling*, 133(3), 225-245.

Ramis Ramos G., C. G.-C. (2001). *Quimiometría*. Madrid, España: Síntesis.

Raymond, H. (2001). The impact of fine sediment on stream macroinvertebrates in urban and rural Oregon streams (Tesis de maestría). Portland State University, Oregon, Estados Unidos.

Reis, R. & Lima, F. (2009). *Basilichthys semotilus*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2009*.

Resolución Jefatural N.º 010-2016-ANA. Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales. Autoridad Nacional del Agua (2016). Disponible online en: <https://www.dhn.mil.pe/Archivos/catalogospincam/PDF/14.pdf>.

Rocha, A. (1998). *Introducción a la Hidráulica Fluvial*. Perú.

Roldán, G. & Ramírez, J. (2008). *Fundamentos de Limnología Neotropical*. (Segunda edición). Medellín: Universidad de Antioquia. 440 pp.

Ryan, S.E. & Porth, L.S. (1999). A field comparison of three pressure-difference Bedload samplers. *Geomorphology*. *Geomorphology*, 307-322.

Sánchez, M. L., Pizarro, H., Tell, G. & Izaguirre, I. (2010). Relative importance of periphyton and phytoplankton in turbid and clear vegetated shallow lakes from the Pampa Plain (Argentina): a comparative experimental study. *Hydrobiologia*, 646, 271-280.

Shannon, C.E. (1948). A mathematical theory of communication. *The bell system technical journal*, 27, 379-423.



Shrestha S. & Kazama F. (2007). Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Fuji river basin, Japan. *Environmental Modelling & Software*, 22(4), 464-475. doi:10.1016/j.envsoft.2006.02.001.

Somarriba, E. (1999). Diversidad Shannon. *Agroforestería en las Américas*, 6(23), 72-74.

Suguio K. (2003). *Geología sedimentar*. São Paulo, Brasil: Editora Blucher.

Ter-Braak, C. (1986). Canonical correspondence analysis: A new technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology* 67(5).

Tukey, J. W. (1977). *Exploratory Data Analysis*. Reading, MA: Addison-Wesley.

Veza, P., Parasiewicz, P., Rosso, M., y Comoglio, C. (2012). Defining minimum environmental flows at regional scale: application of mesoscale habitat models and catchments classification. *River research and applications*, 28(6), 717-730.

Vide, J. P. (1997). Ingeniería fluvial.

Viacava Campos, M., Aitken, R. y Llanos, J. (1978). Estudio del Camarón en el Perú 1975-1976. *Bol IMARPE*, 3(5), 165-232.

Walton, N.R.G. (1989). Electrical Conductivity and total dissolved solids-what is their precise relationship?. *Desalination*, 72, 275-292.

Wang YB, L. C. (2015). Characterization and risk assessment of PAH-contaminated river sediment by using advanced multivariate methods. *Science of the Total Environment*, 524-525, 63-73. doi:10.1016/j.scitotenv.2015.04.019.

Wasiw, J. & Yépez, V. (2017). Evolución de la condición poblacional del camarón *Cryphiops caementarius* en el Río Cañete (2000-2015). *Revista de investigaciones veterinarias del Perú*, 28(1).

Waters, T. (1995). Sediment in streams: Sources, biological effects, and control, American Fisheries Society. Bethesda, MD.

Wentworth, C. K. (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediments. *The journal of geology*, 30(5), 377-392.

Wood, P., & Armitage, P. (1997). Biological effects of fine sediment in the lotic environment. *Environmental Management*, 21, 203-217.

Zacarías Ríos, S. y Yépez Pinillos, V. (2015). Camarón de río *Cryphiops caementarius* (Molina, 1782) en la costa centro-sur del Perú, 2007.