

**INFORME N° 00602-2019-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 Yanapampa, ubicada en el distrito Cochabambas, provincia Ocros, departamento Áncash, durante el 2019

CUE : 2019-01-0037

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 Yanapampa se presentan en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1. Datos generales de la actividad realizada

a.	Zona evaluada	Distritos Cochabambas, provincia Ocros, departamento Áncash
b.	Unidades fiscalizables/ actividades económicas en la zona de estudio	Área de influencia de la central hidroeléctrica Yanapampa
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 10 al 14 de junio de 2019 Del 21 al 27 de julio de 2019 Del 11 al 15 de setiembre de 2019 Del 10 al 15 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
10	Cesar Gregorio Espíritu Limay	Lic. químico	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 Yanapampa 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	5
	Metales totales	8	8	5
	Metales disueltos	8	8	5
	Clorofila A	8	8	5
	PCB-Bifenilos policlorados	8	8	5
	Aceites y grasas	8	8	5
	Carbonato (s)	8	8	5
	Bicarbonato (s)	8	8	5
	Silicatos	8	-	-
	Cianuro WAD	8	8	-
	Detergentes aniónicos SAAM	8	8	-
	Nitrógeno amoniacal (Amoniaco-N(NH3-N))	8	8	5
	Fósforo total	8	8	5
	Nitratos	8	8	5
	Nitrógeno total	8	8	5
	Carbono orgánico total	8	8	5
	Cloruro (s)	8	8	5
	Fluoruro (s)	8	8	5
	Fenoles	8	8	-
	Sulfato (s)	8	8	5
	Sulfuro (s)	8	8	-
	DBO ₅	8	8	5
	DQO	8	8	5
Pesticidas organoclorados	8	-	-	
Pesticidas organofosforados	8	-	-	
Coliformes totales	8	8	3	
Coliformes termotolerantes	8	8	-	
Agua turbinada	pH, CE, OD, temperatura	1	1	1
	Metales totales	1	1	1
	Metales disueltos	1	1	1
	Clorofila A	1	1	-
	PCB-Bifenilos policlorados	1	1	1
	Aceites y grasas	1	1	1
	Carbonato (s)	1	1	1
	Bicarbonato (s)	1	1	1
	Silicatos	1	-	-
	Cianuro WAD	1	1	-
Detergentes aniónicos SAAM	1	1	-	



«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)
	Nitrógeno amoniacal (Amoniaco-N(NH3-N))	1	1	1
	Fósforo total	1	1	1
	Nitratos	1	1	1
	Nitrógeno total	1	1	1
	Carbono orgánico total	1	1	-
	Cloruro (s)	1	1	1
	Fluoruro (s)	1	1	1
	Fenoles	1	1	-
	Sulfato (s)	1	1	1
	Sulfuro (s)	1	1	-
	DBO ₅	1	1	1
	DQO	1	1	1
	Pesticidas organoclorados	1	-	-
	Pesticidas organofosforados	1	-	-
	Coliformes totales	1	1	-
	Coliformes termotolerantes	1	1	-
Sedimento	Granulometría	7	6	2
	Metales	7	6	2
	Materia orgánica	7	6	2
Comunidades hidrobiológicas	Perifiton	20	20	20
	Macroinvertebrados bentónicos	20	20	20
	Camarones y peces*	24	24	24

(*) 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*	24	24	24	24
	Hidromorfología	24	24	24	24
	Parámetros fisicoquímicos	24	24	24	24
	Granulometría de lecho	24	24	24	24
	Vuelo fotogramétrico	-	-	-	24

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 Yanapampa se presentan en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3. Parámetros que exceden normativa ambiental

Matriz	Cuerpo de agua	Código OEFA	Norma ambiental Vigente ¹		
			Junio 2019	Julio 2019	Setiembre 2019
			Agua superficial ¹	Río Pativilca	RPat-5
RPat-27	--	pH ^{a b}			pH ^b
RPat-28	--	pH ^b			*
Quebrada Carhuan	MYan-1	--		--	--
Río Pativilca	RPat-29	--		pH ^b	*
	RPat-30	--		pH ^b	pH ^b
	RPat-31	--	pH ^b	*	

(1) Estándares de Calidad Ambiental para Agua. Decreto Supremo N.º 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.

(*) No fue muestreado en el mes de setiembre.



3. PRINCIPALES CONCLUSIONES

La presente evaluación abarcó el área de influencia de la C.H. Yanapampa 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 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.

A continuación, las conclusiones:

- 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 1,5 y 4 m³/s.
- ii. En las 3 zonas evaluadas se registraron una distribución heterogénea de *Cryphiops caementarius* (1,5 a 20 cm) resaltando mayor abundancia en la zona I, la misma que se ve favorecida por la mayor área porcentual de áreas someras, canto rodado y la presencia de vegetación sumergida.
- iii. 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 principalmente en el mes de setiembre. Estos valores, no excedieron los estándares de calidad ambiental (ECA) para Agua (2017), Categoría 3, a excepción del potencial de hidrógeno (pH) que estuvo por encima del estándar mencionado en las zonas evaluados.
- iv. Los sedimentos no mostraron diferencias especiales entre las zonas, sin embargo, mostraron concentraciones de arsénico que excedieron referencialmente los valores PEL Estándares de la Guía de Calidad Ambiental de Canadá–CEQG en las 3 zonas y meses evaluados del río Pativilca, a excepción de la zona II en el mes de julio de 2019; además de zinc en la zona I , que excedieron dicho estándar.
- v. Los sólidos totales en suspensión mostraron su influencia en la comunidad de perifiton, en particular setiembre del 2019, limitando su desarrollo debido al 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 están 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 con preferencia a hábitats de escasa velocidad.

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 Yanapampa, ubicada en el distrito Cochas, provincia Manas, departamento Áncash; propiedad de la empresa Eléctrica Yanapampa S.A.C, 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: 05031397"



05031397



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 DETERMINACIÓN DE
CAUDAL ECOLÓGICO MEDIANTE UN MÉTODO HOLÍSTICO
MesoHABSIM Y EL ESTADO DE LA CALIDAD DEL RÍO
PATIVILCA EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DE LA CENTRAL
HIDROELÉCTRICA YANAPAMPA, UBICADO EN EL DISTRITO
DE COCHAS, PROVINCIA DE OCROS, DEPARTAMENTO DE
ÁNCASH; PROPIEDAD DE LA EMPRESA ELÉCTRICA
YANAPAMPA S.A.C., 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.....	14
6.2.2	Ubicación de puntos de muestreo	14
6.2.3	Parámetros y métodos de análisis	15
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.....	17
6.3	Comunidades hidrobiológicas	17
6.3.1	Guías utilizadas para la evaluación.....	17
6.3.2	Ubicación de puntos de muestreo	18
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.....	26
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	29
6.4.4	Procesamiento de datos.....	32
6.4.5	Criterios de evaluación.....	33
7.	RESULTADOS Y ANÁLISIS	34
7.1	Agua.....	34
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	48
7.2.4	Diagrama de cajas y bigotes	50
7.3	Comunidades hidrobiológicas	51
7.3.1	Condiciones de referencia.....	51
7.3.2	Perifiton	52
7.3.3	Macroinvertebrados bentónicos	68
7.3.4	Camarón de río (<i>Cryphiops caementarius</i>)	88
7.3.5	Peces	93
7.4	Caudal ecológico.....	97
7.4.1	Parámetros fisicoquímicos	97
7.4.2	Hidromorfología.....	103
7.4.3	Modelo de hábitat.....	110
8.	DISCUSIÓN	122
9.	CONCLUSIONES	133
10.	ANEXOS	134
11.	BIBLIOGRAFÍA	134

**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 punto 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.....	14
Tabla 6.7.	Ubicación de los puntos de muestreo de sedimentos	14
Tabla 6.8.	Parámetros considerados para la evaluación de calidad de sedimentos .	15
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)...	27
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)	28
Tabla 6.24.	Parámetros para evaluar caudal ecológico específico en el área de influencia de la C.H. Yanapampa	29
Tabla 6.25.	Definición de unidades hidromorfológicas empleadas en MesoHABSIM .	31
Tabla 6.26.	Escala granulométrica modificada	31
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. Yanapampa	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.....	46
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.....	49
Tabla 7.10.	Valoración para las características usadas en la definición de estaciones de referencia en el CERA.....	52
Tabla 7.11.	Cantidad de especies por Phylum para cada zona y temporada	53



Tabla 7.12.	Valores de riqueza promedio y desviación estándar de las interacciones a una determinada cantidad de muestras	54
Tabla 7.13.	Registros del índice de Shannon – Wiener (H') para la comunidad de perifiton	58
Tabla 7.14.	Registros del índice de la equidad de Pielou para la comunidad de perifiton	60
Tabla 7.15.	Registros de la abundancia para la comunidad de perifiton	62
Tabla 7.16.	Variables fisicoquímicas con su respectiva abreviatura y puntajes en los ejes 1 y 2 del análisis de correspondencias canónicas	63
Tabla 7.17.	Variables fisicoquímicas con su respectiva abreviatura y puntajes en los ejes 1 y 2 del análisis de correspondencias canónicas	64
Tabla 7.18.	Composición porcentual del Phylum Insecta para los macroinvertebrados bentónicos	69
Tabla 7.19.	Valores de riqueza promedio y desviación estándar de las interacciones a una determinada cantidad de muestras	70
Tabla 7.20.	Registros del índice de Shanon para la comunidad de comunidad de perifiton – junio 2019 macroinvertebrados bentónicos	75
Tabla 7.21.	Registros de la Equidad de Pielou para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos	77
Tabla 7.22.	Registros de la Abundancia para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos	79
Tabla 7.23.	Variables fisicoquímicas con su respectiva abreviatura y puntajes en los ejes 1 y 2 del análisis de correspondencias canónicas	83
Tabla 7.24.	Especies de macroinvertebrados bentónicos con su respectiva abreviatura y sus puntajes en los ejes 1 y 2 usados en el análisis de correspondencias canónicas	83
Tabla 7.25.	Variables en sedimentos con su respectiva abreviatura y puntajes en los ejes 1 y 2 del análisis de correspondencias canónicas	86
Tabla 7.26.	Especies de macroinvertebrados bentónicos con su respectiva abreviatura y sus puntajes en los ejes 1 y 2 usados en el análisis de correspondencias canónicas en sedimentos	86
Tabla 7.27.	Número de individuos por intervalo de longitud total (cm)	88
Tabla 7.28.	Valores de media y cuartiles para el factor de condición por zonas y sexo	91
Tabla 7.29.	Composición taxonómica de peces en un sector del río Pativilca	93
Tabla 7.30.	Frecuencia de <i>Trichomycterus</i> sp. en las 3 zonas del río Pativilca	94
Tabla 7.31.	Frecuencia de <i>Basilichthys</i> sp. en la zona III del río Pativilca	95
Tabla 7.32.	Tabla de frecuencia de <i>Lebiasina bimaculata</i> en la zona II y III del río Pativilca	97
Tabla 7.33.	Valores promedios de caudal y temperatura	98
Tabla 7.34.	Valores de caudal, ancho mojado promedio y velocidad promedio por zonas y temporadas	106
Tabla 7.35.	Cantidad y porcentaje de UHM encontrados por zona y por temporada	107
Tabla 7.36.	Cantidad de cantos rodados encontrados de cada tipo de incrustamiento por zonas y temporadas	109
Tabla 7.37.	Modelo de hábitat para la presencia de <i>Cryphiops caementarius</i> en la zona I	111
Tabla 7.38.	Habitabilidad para la presencia de <i>Cryphiops caementarius</i> en la zona I	112
Tabla 7.39.	Modelo de hábitat para la habitabilidad (presencia/ausencia) de <i>Cryphiops caementarius</i> en la zona I	113



Tabla 7.40.	Habitabilidad para la presencia de <i>Cryphiops caementarius</i> en la zona I	115
Tabla 7.41.	Modelo de hábitat para la habitabilidad (presencia/ausencia) de <i>Cryphiops caementarius</i> en la zona II	117
Tabla 7.42.	Habitabilidad para la presencia de <i>Cryphiops caementarius</i> en la zona II	119
Tabla 7.43	.Habitabilidad óptima (abundante – no abundante) para la <i>Cryphiops caementarius</i> en la zona II	119
Tabla 7.44.	Habitabilidad (presencia/ausencia) de <i>Cryphiops caementarius</i> en la zona II	121

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4.1.	Mapa de ubicación de la C.H. Yanapampa	4
Figura 4.2.	Área de estudio distribuido por zonas	5
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 bigotes	13
Figura 6.3.	Curva granulométrica acumulada continua	16
Figura 7.1.	Esquema de distribución de puntos evaluados en el área de influencia de la C.H. Yanapampa	0
Figura 7.2.	Valores de potencial de hidrogeno (pH) comparada con los ECA para Agua (2017) categoría 3: D1 y D2	37
Figura 7.3.	Valores de sólidos totales disueltos	38
Figura 7.4.	Valores de sólidos totales suspendidos	38
Figura 7.5.	Relación lineal entre la conductividad y los sólidos disueltos totales (SDT) de los puntos de muestreo evaluados en junio, julio 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. Yanapampa.	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. Yanapampa.	43
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) O.D., b) hierro, c) bicarbonato, d) STS por zonas.....	45
Figura 7.10.	Diagrama de cajas y bigotes para variación de arsénico total por zonas.	45
Figura 7.11.	Diagrama de cajas y bigotes para variación de nitratos total por zonas ..	46
Figura 7.12.	Distribución granulométrica de los sedimentos evaluados – junio 2019 ..	47
Figura 7.13.	Distribución granulométrica de los sedimentos evaluados – julio 2019 ...	48
Figura 7.14.	Distribución granulométrica de los sedimentos evaluados – setiembre 2019	48
Figura 7.15.	Presencia de materia orgánica en los sedimentos evaluados en junio, julio y setiembre 2019.....	48
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. Yanapampa.....	50



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) plomo 51

Figura 7.18. Gráfico de barras para los puntajes en la valoración de estaciones de referencias del CERA (Acosta, 2009) 52

Figura 7.19. Composición porcentual de especies de perifiton por zonas y temporadas evaluados en el río Pativilca..... 53

Figura 7.20. Curva de acumulación de especies para perifiton – junio 2019 55

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

Figura 7.22. Curva de acumulación de especies para perifiton – setiembre 2019 56

Figura 7.23. Gráfico de cajas del índice de Shannon - Wiener (H') para la comunidad de perifiton – junio 2019 57

Figura 7.24. Gráfico de cajas del índice de Shannon - Wiener (H') para la comunidad de perifiton – julio 2019 57

Figura 7.25. Gráfico de cajas del índice de Shannon - Wiener (H') para la comunidad de perifiton – setiembre 2019 58

Figura 7.26. Gráfico de cajas de la Equidad de Pielou (J') para la comunidad de perifiton – junio de 2019..... 59

Figura 7.27. Gráfico de cajas de la Equidad de Pielou (J') para la comunidad de perifiton – julio 2019..... 59

Figura 7.28. Gráfico de cajas de la Equidad de Pielou (J') para la comunidad de perifiton - setiembre 2019 60

Figura 7.29. Gráfico de cajas del logaritmo natural de la abundancia (Ln(N)) para la comunidad de perifiton – junio 2019 61

Figura 7.30. Gráfico de cajas del logaritmo natural de la abundancia (Ln(N)) para la comunidad de perifiton – julio 2019..... 61

Figura 7.31. Gráfico de cajas del logaritmo natural de la abundancia (Ln(N)) para la comunidad de perifiton - setiembre 2019 62

Figura 7.32. CCA para los parámetros de calidad de agua y la comunidad de perifiton - zonas..... 65

Figura 7.33. CCA para los parámetros de calidad de agua y la comunidad de perifiton – temporadas 66

Figura 7.34. CCA para los parámetros de sedimentos y la comunidad de perifiton - zonas 67

Figura 7.35. CCA para los parámetros de sedimentos y la comunidad de perifiton - temporadas 68

Figura 7.36. Gráfico de barras porcentual para la composición del Phylum Insecta de macroinvertebrados bentónicos 69

Figura 7.37. Curva de acumulación de especies para macroinvertebrados bentónicos - junio 2019..... 71

Figura 7.38. Curva de acumulación de especies para macroinvertebrados bentónicos – julio 2019..... 72

Figura 7.39. Curva de acumulación de especies para macroinvertebrados bentónicos – setiembre 2019 72

Figura 7.40. Gráfico de cajas del índice de Shannon - Wiener (H') para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos – junio 2019..... 73

Figura 7.41. Gráfico de cajas del índice de Shannon - Wiener (H') para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos – julio 2019 74

Figura 7.42. Gráfico de cajas del índice de Shannon - Wiener (H') para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos - setiembre 2019 74

Figura 7.43. Gráfico de cajas de la Equidad de Pielou (J') para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos – junio 2019..... 76



Figura 7.44.	Gráfico de cajas de la Equidad de Pielou (J') para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos – julio 2019.....	76
Figura 7.45.	Gráfico de cajas de la Equidad de Pielou (J') para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos - setiembre 2019	77
Figura 7.46.	Gráfico de cajas del logaritmo natural de la abundancia Ln(N) para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos – junio 2019	78
Figura 7.47.	Gráfico de cajas del logaritmo natural de la abundancia Ln(N) para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos – julio 2019.....	79
Figura 7.48.	Gráfico de cajas del logaritmo natural de la abundancia Ln(N) para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos – setiembre 2019	79
Figura 7.49.	Gráfico de barras para los puntajes del ABI.....	81
Figura 7.50.	Gráfico de barras para los puntajes del LIFE	82
Figura 7.51.	Número de familias encontradas en cada categoría del LIFE.....	82
Figura 7.52.	CCA usando parámetros de calidad de agua y macroinvertebrados bentónicos - zonas	84
Figura 7.53.	CCA para los parámetros de calidad de agua y la comunidad de macroinvertebrados bentónicos - temporadas	85
Figura 7.54.	CCA para los parámetros de sedimentos y la comunidad de macroinvertebrados bentónicos – zonas.....	87
Figura 7.55.	CCA para los parámetros de sedimentos y la comunidad de macroinvertebrados bentónicos - temporadas	87
Figura 7.56.	Histograma para las tallas (longitud total) de camarones	89
Figura 7.57.	Relación alométrica entre los valores de longitud (cm) y peso (g) para camarones machos.....	90
Figura 7.58.	Relación alométrica entre los valores de longitud (cm) y peso (g) para camarones hembras y juveniles.....	90
Figura 7.59.	Gráfico de cajas para el factor de condición (FC) de machos	91
Figura 7.60.	Gráfico de cajas para el factor de condición (FC) de hembras y juveniles	92
Figura 7.61.	Distribución de abundancias de machos, hembras y juveniles por zonas y temporadas	92
Figura 7.62.	Abundancia de las especies por zonas en el río Pativilca.....	93
Figura 7.63.	Ejemplar de <i>Trichomycterus</i> sp.....	94
Figura 7.64.	Histograma de tallas de <i>Trichomycterus</i> sp.	94
Figura 7.65.	Ejemplar de <i>Basilichthys</i> sp.	95
Figura 7.66.	Histograma de tallas de <i>Basilichthys semotilus</i>	96
Figura 7.67.	Ejemplar de <i>Lebiasina bimaculata</i>	96
Figura 7.68.	Diagrama de cajas para la temperatura por cada zona y temporada.....	98
Figura 7.69.	Temperatura vs gráfico lineal para el caudal por cada zona y temporada.....	98
Figura 7.70.	Diagrama de cajas para el pH por zonas y temporadas	99
Figura 7.71.	Diagrama de cajas para la conductividad eléctrica por zonas y temporadas	100
Figura 7.72.	Diagrama de cajas para el oxígeno disuelto por zonas y temporadas ...	100
Figura 7.73.	Diagrama de cajas de alcalinidad por zonas y temporadas	101
Figura 7.74.	Diagrama de cajas para los sólidos totales disueltos (STD) por zonas y temporadas.	101
Figura 7.75.	Diagrama de cajas para los sólidos totales suspendidos por zonas y temporadas	102
Figura 7.76.	Diagrama de cajas para la turbidez por zonas y temporadas	102



Figura 7.77.	Regresión entre sólidos totales en suspensión y turbidez	103
Figura 7.78.	Diagrama de cajas para la mediana de la profundidad por zonas y temporadas	104
Figura 7.79.	Diagrama de cajas para el ancho mojado promedio por zonas y temporadas	104
Figura 7.80.	Comparación entre los valores de caudal y el ancho mojado promedio	105
Figura 7.81.	Diagrama de cajas de velocidad mediana por zonas y temporadas	105
Figura 7.82.	Comparación entre los valores de caudal y la velocidad.....	106
Figura 7.83.	Composición granulométrica en junio 2019	108
Figura 7.84.	Composición granulométrica en julio 2019.....	108
Figura 7.85.	Composición granulométrica en setiembre 2019	109
Figura 7.86.	Composición granulométrica en octubre 2019.....	109
Figura 7.87.	Registro de incrustamientos encontrados	110
Figura 7.88.	Curva ROC para el modelo de presencia de <i>Cryphiops caementarius</i> en la zona I	111
Figura 7.89.	Árbol de decisión para el conjunto de variables de hábitat en la zona I.	112
Figura 7.90.	Curva ROC para el modelo de presencia de <i>Cryphiops caementarius</i> en la zona I (presencia/ausencia)	114
Figura 7.91.	Árbol de decisión para el conjunto de variables de hábitat en la zona I.	115
Figura 7.92.	Habitabilidad, habitabilidad óptima y habitabilidad total de <i>Cryphiops caementarius</i> en relación con el área disponible en la zona I.....	116
Figura 7.93.	Habitabilidad, habitabilidad óptima y habitabilidad total de <i>Cryphiops caementarius</i> relación al área caudal en la zona I	116
Figura 7.94.	Curva ROC para el modelo de habitabilidad óptima de <i>Cryphiops caementarius</i> en la zona II	118
Figura 7.95.	Curva ROC para el modelo de habitabilidad óptima de <i>Cryphiops caementarius</i> en la zona II	120
Figura 7.96.	Habitabilidad, habitabilidad óptima y habitabilidad total de <i>Cryphiops caementarius</i> en la zona II	121
Figura 7.97.	Habitabilidad, habitabilidad óptima y habitabilidad total de <i>Cryphiops caementarius</i> relación al área-caudal en la zona II.....	122
Figura 8.1.	Morfología del lecho del cauce del río Pativilca evaluado por zonas	123
Figura 8.2.	Derecho de uso de agua cuenca media y alta del río Pativilca	124
Figura 8.3.	Caudal medio mensual de un año seco en la estación Yanapampa.....	124
Figura 8.4.	Caudal medio mensual de un año promedio en la estación Yanapampa	125
Figura 8.5.	Caudal medio mensual de un año húmedo en la estación Yanapampa	125
Figura 8.6.	Variación de precipitación total mensual histórica (1981-2016)	126
Figura 8.7.	Hidrograma de caudales históricos medios en la estación Yanapampa I (1981-2008).....	126
Figura 8.8.	Hidrograma a) niveles registrados en la estación Yanapampa I b) producción de energía C.H. Yanapampa.	127
Figura 8.9.	Hidrograma de caudales diarios aforados durante la evaluación 2019..	128
Figura 8.10.	Clasificación cualitativa de los índices globales	128
Figura 8.11.	Condiciones hidromorfológicas de las zonas evaluadas.....	129
Figura 8.12.	Limpieza de los canales de conducción C.H Yanapampa (11 de setiembre 2019). a. Punto de muestreo RPat-27 (zona II), b. Punto de muestreo EFLU-2 (agua turbinada).....	130
Figura 8.13.	Porcentaje de hábitat o área versus caudal	132



1. INTRODUCCIÓN

El presente informe corresponde a la evaluación ambiental realizada durante el 2019 en el área de influencia¹ de la Central Hidroeléctrica Yanapampa (en adelante, C.H. Yanapampa) de la empresa Eléctrica Yanapampa S.A.C (en adelante, Eléctrica Yanapampa S.A.C), en adición al área de influencia de aproximadamente 2,0 km de tramo del río Pativilca se ha considerado 2 tramos más del río Pativilca de aproximadamente 3,0 km aguas arriba del punto de captación y de aproximadamente 2,0 km aguas abajo de la restitución de aguas turbinadas.

La C.H. Yanapampa ubicada en la margen izquierda del río Pativilca en el distrito Cochas, provincia Ocos, departamento Áncash; desvía el agua del mencionado río mediante una bocatoma construida en el cauce, siendo conducida hasta una cámara de carga por un canal abierto de aproximadamente 2 km, para finalmente, desembocar en el río Pativilca, a su vez, cuenta con un caudal nominal de 20,0 m³/s para una potencia instalada de 4,130 MW (3 turbinas de generación).

Hidrográficamente, la C.H Yanapampa se encuentra ubicada en la cuenca media baja 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, y 4 monitoreos de mediciones hidráulicas de unidades hidromorfológicas (UHM) y colecta de camarones en los meses mencionados además del mes de octubre en el año 2019. Asimismo, se realizaron mediciones de caudal en los tramos evaluados del río.

El estudio consideró, también el análisis de registro histórico de precipitaciones y caudales, asimismo, además 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

¹ La C.H. Yanapampa obtuvo autorización de generación eléctrica mediante la R.D. N°0016-2008-GRL-DREM del 1 de mayo de 2008. Cabe indicar que en dicha resolución no se especifica el área de influencia por lo que, se ha determinado como área de influencia el tramo comprendido desde el punto de captación hasta la restitución de aguas turbinadas (tramo del río Pativilca de aproximadamente 2 km).

² La Agronomía 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 Yanapampa 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.



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 (fotografías terrestres) 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, 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) 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 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. Yanapampa inicio sus operaciones en el año 2013 a cargo de la empresa Eléctrica Yanapampa S.A.C., la autorización para desarrollar la actividad de generación de energía eléctrica fue aprobada mediante una R.D N.º 0016-2008-GRL-GRDE-DREM de fecha de 23 de abril de 2008. Cabe indicar que, en el expediente de solicitud de otorgamiento de autorización para generación de energía eléctrica Eléctrica Yanapampa S.A.C, presentó una Declaración Jurada de compromiso respecto a las Normas Técnicas, de Conservación del Medio Ambiente y del Patrimonio Cultural de la Nación.

En el año 2014 Eléctrica Yanapampa S.A.C. realizó un Estudio de Determinación de la Potencia Efectiva de la Central Hidroeléctrica Yanapampa para el Comité de Operaciones del Sistema Interconectado Nacional (en adelante, COES) en base al procedimiento N°18: determinación de la potencia efectiva de las centrales de generación hidráulica. Asu vez Eléctrica Yanapampa tiene concesión de transmisión y cuenta con Estudio de Impacto Ambiental (en adelante, EIA) Línea de Trasmisión 66Kv C.H. Yanapampa-S.E. Paramonga Nueva.

Asimismo, cuenta con derecho de uso de agua otorgados por la Autoridad Nacional del Agua – ANA mediante R.D N° 657-2013-AAA del 2 de diciembre de 2013⁴. En el Artículo 2° de dicha resolución se estable el caudal ecológico entre el punto de captación y devolución de hasta 2,1 metros cúbicos en forma mensual.

El 6 de noviembre de 2018, la Dirección de Supervisión Ambiental en Energía y Minas – DSEM, mediante Memorándum 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

⁴ Licencia de uso de agua con fines energéticos para la Central Hidroeléctrica Yanapampa, ubicándose su toma de captación en las coordenadas UTM (DATUM WGS 84) 8825955 m Norte y 241263 m Este y devueltas en las coordenadas UTM (DATUMWGS 84) 8825993 m Norte y 238976 m Este hasta por un volumen anual de hasta 611,622 MMC (millones de metros cúbicos).



de supervisión especial⁵ por presunta afectación a las comunidades hidrobiológicas en la cuenca del río Pativilca⁶; debido a la supuesta ausencia de paso del caudal ecológico por la captación de C.H. Yanapampa de la empresa Eléctrica Yanapampa S.A.C.

En atención a estos pedidos, 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 y en el 2019, con la finalidad de profundizar y recabar información del ámbito de la C.H. Yanapampa, la DEAM realizó el reconocimiento en dicha zona del 3 al 4 de abril de 2019. Los puntos de evaluación identificados se encuentran en el Informe N.º 00197-2019-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 Yanapampa, ubicada en el distrito Cochas, provincia Ocros, departamento Áncash - 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. Yanapampa y posterior a la restitución de aguas turbinadas.
- Determinar el caudal ecológico mediante el método holístico MesoHABSIM la preferencia de hábitat del «camarón de río» en el río Pativilca, tramo de influencia de la central hidroeléctrica Yanapampa.

4. ÁREA DE ESTUDIO

La C.H. Yanapampa se encuentra ubicada políticamente en el distrito Cochas, provincia de Ocros, departamento Áncash sobre la margen izquierda del río Pativilca, a una altitud de 750 m s. n. m. Hidrográficamente, se encuentra ubicada en la cuenca media baja del río Pativilca (U.H. 137583). El río Pativilca forma parte de la unidad hidrográfica cuenca Pativilca y pertenece a la vertiente del Pacífico.

⁵ 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.

⁶ Dicha solicitud está basada en el DOC 1051895, EXP 707954, presentada por la Agrupación 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. Yanapampa. La agrupación 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.

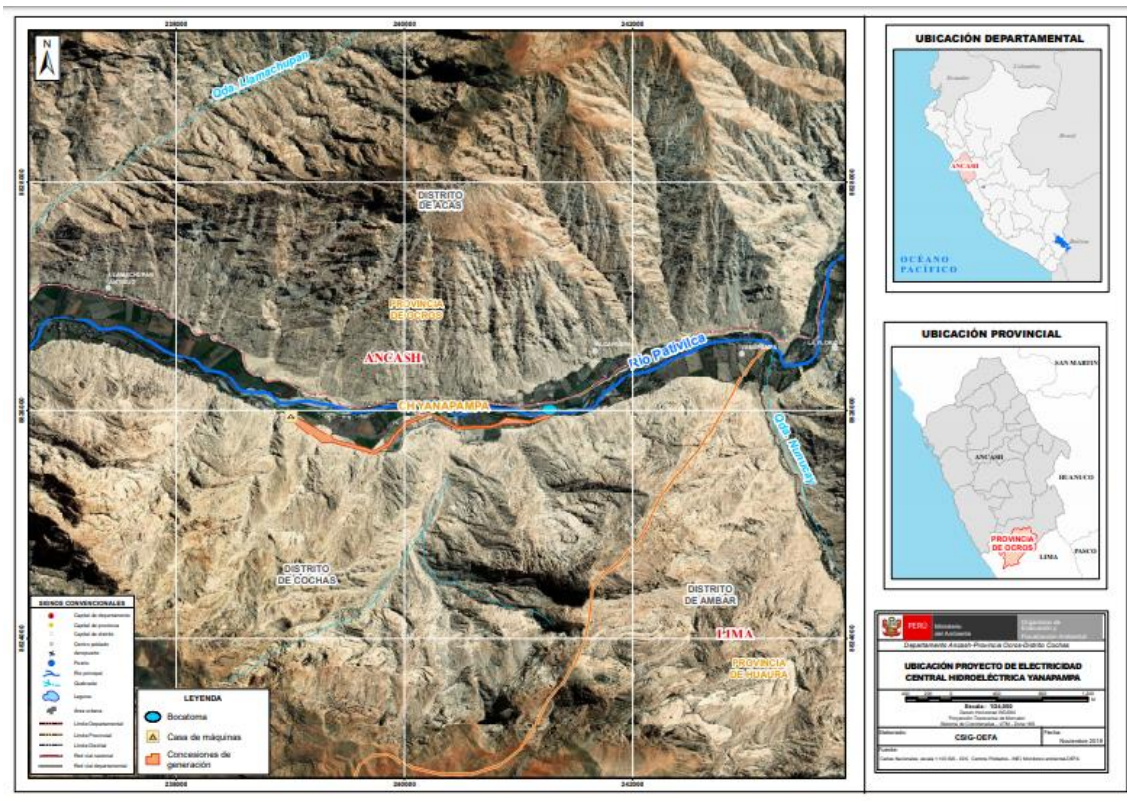


Figura 4.1. Mapa de ubicación de la C.H. Yanapampa

El área de estudio para la evaluación abarcó el área de influencia de la C.H. Yanapampa y tramos del río Pativilca de aproximadamente 3 km aguas arriba del punto de captación y de aproximadamente 2 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. Yanapampa. Dicha zona comprende: 1 punto de muestreo de agua superficial, 1 punto de muestreo de sedimento, 5 puntos de muestreo de comunidades hidrobiológicas, 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. Yanapampa. Dicha zona comprende: 4 puntos de muestreo de agua superficial, 4 puntos de muestreo de sedimentos, 10 puntos de muestreo de comunidades hidrobiológicas, 20 secciones de aforo de caudal y 10 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: 1 punto de muestreo de agua turbinada, 3 puntos de muestreo de agua superficial, 3 puntos de muestreo de sedimentos, 7 puntos de muestreo de comunidades hidrobiológicas, 14 secciones de aforo de caudal y 7 UHM de colecta de camarones.

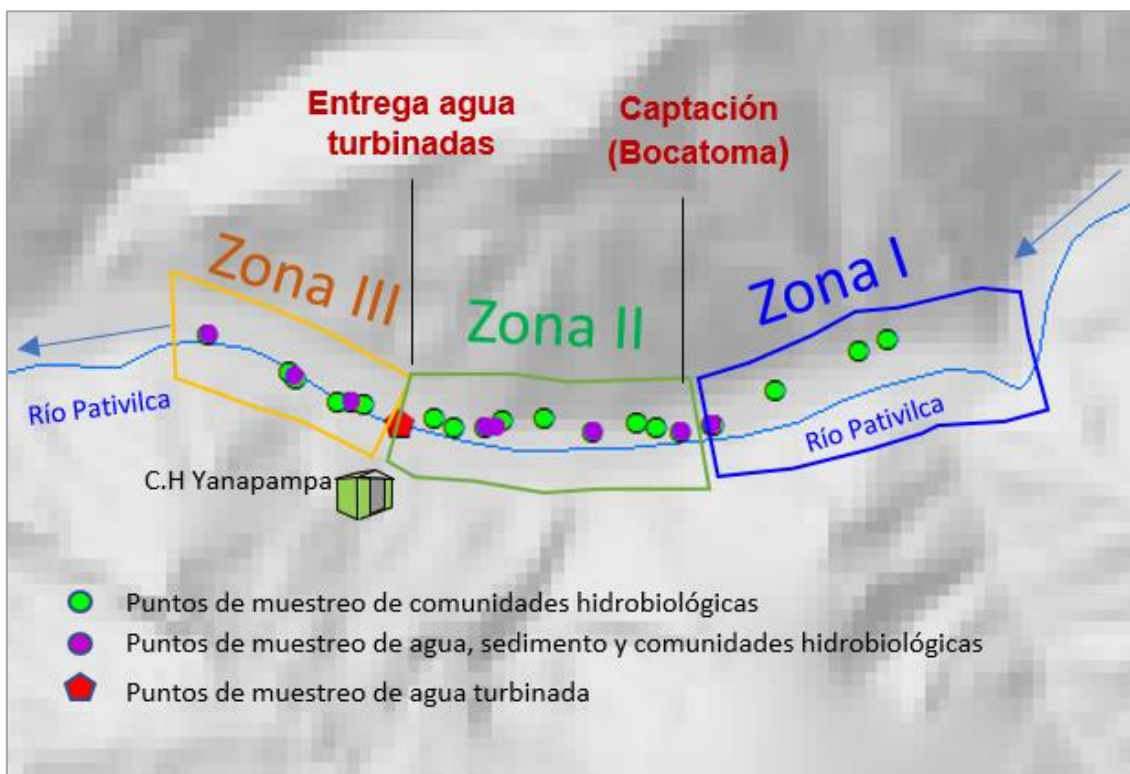


Figura 4.2. Área de estudio distribuido por zonas

5. CONTEXTO SOCIAL

La C.H. Yanapampa se encuentra ubicada en el distrito Cochas, en la provincia Ocos, entre el límite de los departamentos de Áncash y Lima. El centro poblado Cochas cuenta con 467 habitantes y 68 viviendas ⁷. La principal actividad económica de esta 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. Yanapampa. La estructura del presente ítem esta 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 10 al 14 de junio de 2019⁸; del 21 al 27 de julio de 2019⁹ y del 11 al 15 de setiembre de 2019¹⁰ durante dichos monitoreos se realizaron también

⁷ Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), de acuerdo con el Censo Peruano 2017

⁸ Anexo 2: reporte de campo N° 0338-2019-SSIM

⁹ Anexo 3: reporte de campo N° 0336-2019-SSIM

¹⁰ Anexo 4: reporte de campo N° 0433-2019-SSIM



colecta de camarones y mediciones de la geometría hidráulica por unidades hidromorfológicas (UHM); adicionalmente del 10 de setiembre al 15 de octubre se realizó un vuelo fotogramétrico en los tramos evaluados del río Pativilca¹¹ y también se realizó colecta de camarones en las UHM¹²

6.1 Agua

En los apartados siguientes se presenta la metodología desarrollada para evaluar la calidad de agua superficial y agua turbinada¹³. 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»¹⁴, 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.

(*)control de calidad

6.1.2 Ubicación de puntos de muestreo

Para la ubicación de los puntos de muestreo de agua se consideró como referencia aquellos puntos con derecho de uso de agua otorgados por la Autoridad Nacional del Agua – ANA mediante R.D N° 657-2013-AAA, los que fueron complementados con puntos establecidos en gabinete y validados en campo.

Se plantearon 8 puntos de muestreo de agua superficial y 1 punto 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-5	241346	8825994	Aguas arriba de la bocatoma de la C.H. Yanapampa, aproximadamente a 100 m. Punto ubicado en el canal de derivación

¹¹ Anexo 8: reporte de campo N° 0501-2019-SSIM

¹² Anexo 13: lista de colecta de camarones en octubre 2019

¹³ De acuerdo con el Art. 87 del Decreto Supremo N° 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».

¹⁴ 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)	
2		RPat-27	241102	8825952	Aguas abajo de la bocatoma de la C.H. Yanapampa, aproximadamente a 160 m
3		RPat-28*	240440	8825948	Aguas abajo de la bocatoma de la C.H. Yanapampa, aproximadamente a 830 m
4		RPat-6	239620	8825980	Aguas arriba de la descarga de la C.H. Yanapampa, aproximadamente a 665 m
5		RPat-29*	238588	8826160	Aguas abajo de la descarga de la C.H. Yanapampa, aproximadamente a 400 m
6		RPat-30	238156	8826350	Aguas abajo de la descarga de la C.H. Yanapampa, aproximadamente a 880 m
7		RPat-31**	237508	8826659	Aguas abajo de la descarga de la C.H. Yanapampa, aproximadamente a 1,6 km
8	Manantial	MYan-1***	239700	8825986	Manantial sin nombre ubicado aproximadamente a 25 m del RPat-6

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

Fuente: Anexo 2: reporte de campo N° 0337-2019-SSIM; Anexo 3: reporte de campo N° 0338-2019-SSIM y Anexo 4: reporte de campo N° 0433-2019-SSIM.

(*) No se colectó muestra en el mes de setiembre, por falta de acceso.

(**) No se colectó muestra por el por el cierre de compuertas de captación de C.H Yanapampa alterando el tramo de caudal reducido.

(***) El punto MYan -1 es considerado como parte de la matriz agua superficial para efectos de comparación referencial.

Tabla 6.3. Ubicación de punto de muestreo de agua turbinada

N.º	Código OEFA	Coordenadas UTM		Descripción
		WGS84 – Zona 18 L		
		Este (m)	Norte (m)	
1	EFLU-2	238964	8826013	Punto ubicado en la descarga de aguas provenientes de las turbinas de C.H. Yanapampa

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

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

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) y potencial óxido reducción (ORP).

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- SiO2 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	



N.º	Parámetros	Método de ensayo de referencia	Laboratorio de ensayo acreditado
10	Detergentes Aniónicos SAAM	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. 5540 C, 23rd Ed.2017	ALS LS PERU S.A.C.
11	Nitrógeno amoniacal (Amoniac-N(NH3-N))	SWEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NH3 F, 23rd Ed.2017	
12	Fósforo total	EPA METHOD 365.3, 1983	
13	Nitratos	EPA METHOD 300.1 B, Rev.1 2015	
14	Nitrógeno total	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. 4500 N C, 23rd Ed.2017	
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 TYPESA 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	TYPESA 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- SiO2 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	



N.º	Parámetros	Método de ensayo de referencia	Laboratorio de ensayo acreditado
20	Metales Disueltos por ICP-MS incluido Hg	EPA Method 200.8 Rev. 5.4 (1994) ICP-MS	AGQ PERU S.A.C
21	Sólidos suspendidos totales - STS	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. 2540 D, 22 nd. Ed.2017	
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 (Amoniac-N(NH3-N))	SWEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NH3 F, 23rd Ed.2017	
25	Fósforo total	SWEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NH3 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 TYPESA 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; así mismo, se utilizaron cámaras fotográficas y GPS para el registro de cada punto de muestreo evaluado. El detalle de los equipos utilizados en la evaluación se encuentra en los anexos 2,3 y 4 (Reportes de campo N.º 0337-2019-SSIM, N.º 0338-2019-SSIM y N.º 0433-2019-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 totales 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)¹⁵. De esa manera, la Figura 6.1 muestra una vista

¹⁵ 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.

generalizada de los cambios de los valores de K con el incremento de los TDS en los distintos tipos de agua.

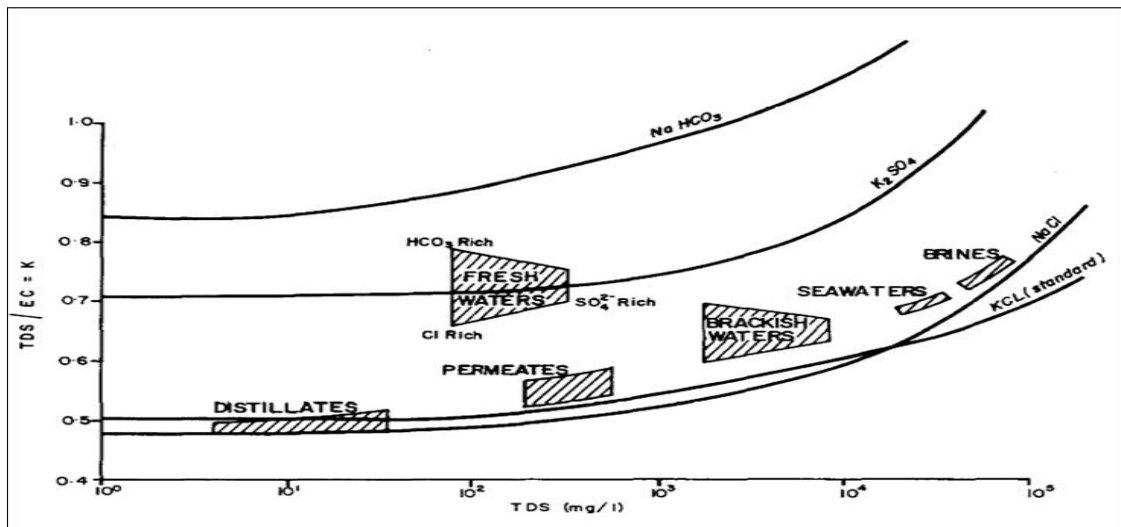


Figura 6.1. Relación de los sólidos disueltos totales (TDS) con los valores de k para diferentes tipos de agua.

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 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 consideró 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 (Hese, 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-Meyer-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 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 (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 utilizó 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 construyó 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 datos¹⁶. Lo más importante del gráfico es la «caja», esta se define a partir del rango intercuartílico (IQR, por sus siglas en inglés)¹⁷. 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).

¹⁶ Los valores de Q₁ y Q₃ contienen el 25 % y 75 % de los datos respectivamente.

¹⁷ El IQR es la diferencia entre el valor del tercer cuartil y el valor del primer cuartil ($IQR = Q3 - Q1$).

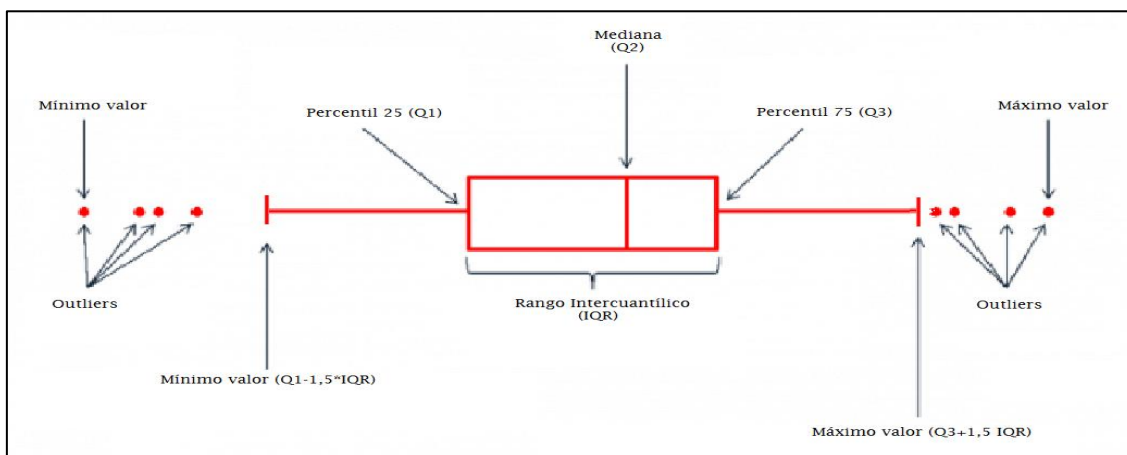


Figura 6.2. Diagrama de cajas y bigotes
Fuente: Modificado de Barua B (2018).

6.1.7 Criterios de evaluación

La C.H. Yanapampa no cuenta con un IGA donde establezcan criterios de comparación para monitoreo de calidad de agua, pero si cuenta con derecho de uso de agua otorgados por la Autoridad Nacional del Agua – ANA mediante R.D N° 657-2013-AAA del 2 de diciembre de 2013¹⁸. Según la Resolución Jefatural N.° 056-2018-ANA¹⁹, «Clasificación de los Cuerpos de Agua Continentales Superficiales», el río Pativilca (U.H. 137583) posee una clasificación con Categoría 3: Riego de vegetales (D1) y bebidas de animales (D2), por lo cual, los resultados de agua superficial fueron comparados con la normativa vigente de los Estándares Nacionales de Calidad para Agua (en adelante, ECA para Agua), aprobados mediante Decreto Supremo N.° 004-2017-MINAM.

Respecto a las aguas turbinadas²⁰ que de acuerdo con el Art. 87 del Decreto Supremo N° 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

En los apartados siguientes se presenta la metodología desarrollada para evaluar la calidad de sedimento. 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.

¹⁸ Licencia de uso de agua con fines energéticos para la Central Hidroeléctrica Yanapampa, ubicándose su toma de captación en las coordenadas UTM (DATUM WGS 84) 8825955 m Norte y 241263 m Este y devueltas en las coordenadas UTM (DATUMWGS 84) 8825993 M Norte y 238976 m Este hasta por un volumen anual de hasta 611,622 MMC.

¹⁹ Resolución Jefatural N.° 056-2018-ANA. Clasificación de los Cuerpos de Agua Continentales Superficiales. Aprobada el 13 de febrero de 2018.

²⁰ 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.



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

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
Manual técnico Métodos para colección, almacenamiento y manipulación de sedimento para análisis químicos y toxicológicos de la Agencia para la Protección Ambiental de los Estados Unidos (Methods for collection, storage and manipulation of sediments for chemical and toxicological analyses: technical manual, 2001)	Capítulos 4	Estados Unidos	Agencia de Protección Ambiental (EPA)	2001

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 7 puntos de muestreo en el río Pativilca, 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 WGS-84 Zona 18 L		Descripción
			Este (m)	Norte (m)	
1	Río Pativilca	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
2		RPat-27**	241102	8825952	Aguas abajo de la bocatoma de la C.H. Yanapampa, aproximadamente a 160 m
3		RPat-28**	240440	8825948	Aguas abajo de la bocatoma de la C.H. Yanapampa, aproximadamente a 830 m
4		RPat-6**	239620	8825980	Aguas arriba de la descarga de la C.H. Yanapampa, aproximadamente a 665 m
5		RPat-29**	238588	8826160	Aguas abajo de la descarga de la C.H. Yanapampa, aproximadamente a 400 m
6		RPat-30	238156	8826350	Aguas abajo de la descarga de la C.H. Yanapampa, aproximadamente a 880 m
7		RPat-31*	237508	8826659	Aguas abajo de la descarga de la C.H. Yanapampa, aproximadamente a 1,6 km

(*) No se colectó muestra en el mes de julio y setiembre, por falta de acceso

(**) No se colectó muestra por el lavado de los sedimentos por el cierre de compuertas de captación de C.H Yanapampa
Fuente: Anexo 2: reporte de campo N° 0337-2019-SSIM; Anexo 3: reporte de campo N° 0338-2019-SSIM y Anexo 4: reporte de campo N° 0433-2019-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	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 de PVC; 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 los Anexos 2,3 y 4 (Reportes de campo N.º 0337-2019-SSIM, N.º 0338-2019-SSIM y N.º 0433-2019-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 los 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 %.
- Prueba de 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 sedimentos 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).

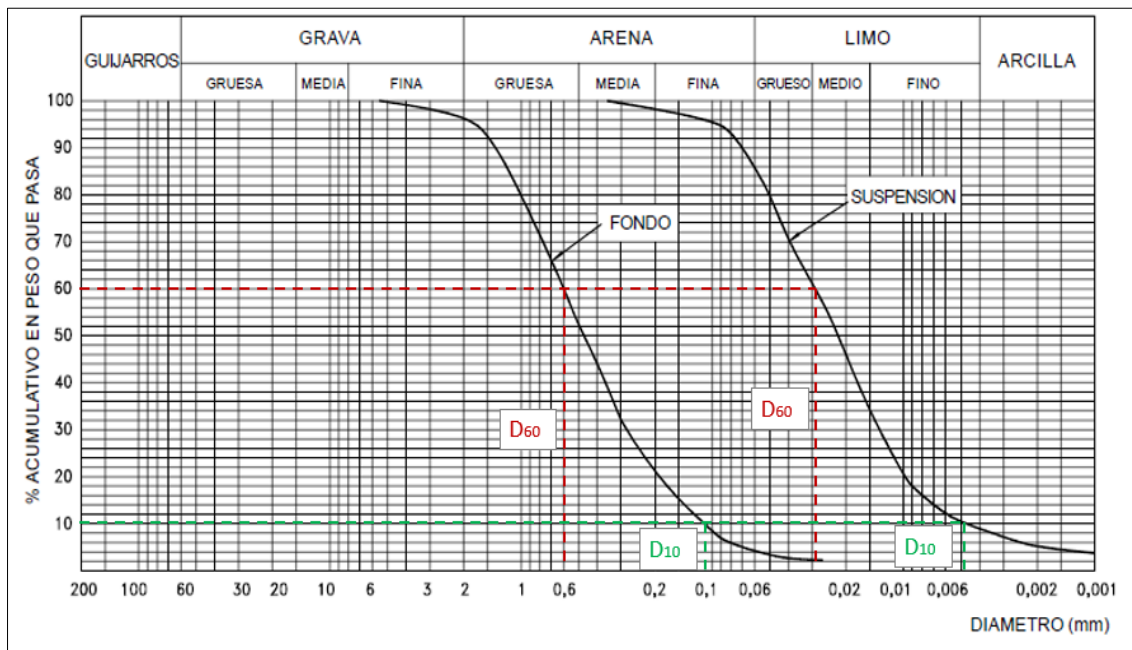


Figura 6.3. Curva granulométrica acumulada continua

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:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (6.2)$$

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)²¹ 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

- *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, 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. Yanapampa.

Tabla 6.10. Guías utilizadas para la evaluación de comunidades hidrobiológicas

Matriz	Autoridad emisora	País	Referencia	Año	Capítulos
Comunidades hidrobiológicas	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	Evolución de la condición poblacional del camarón	2017	---

²¹ Disponible en: https://www.ccme.ca/en/resources/canadian_environmental_quality_guidelines/. Consultado el 10 de noviembre de 2019.



Matriz	Autoridad emisora	País	Referencia	Año	Capítulos
	Perú (IMARPE)		<i>Cryphiops caementarius</i> en el río Cañete (2000-2015)		

6.3.2 Ubicación de puntos de muestreo

Se evaluaron en total 22 puntos de muestreo 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 reducido) y zona III (zona de influencia). Asimismo, 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-5*	241346	8825994	Aguas arriba de la bocatoma de la C.H. Yanapampa, aproximadamente a 100 m. Punto ubicado en el canal de derivación
2		RPat-35	241363	8826000	Aguas arriba de la bocatoma de la C.H. Yanapampa, aproximadamente a 120 m
3		RPat-33	242459	8826543	Aguas arriba de la bocatoma de la C.H. Yanapampa, aproximadamente a 1,3 km
4		RPat-32	242693	8826615	Aguas arriba de la bocatoma de la C.H. Yanapampa, aproximadamente a 1,6 km
5		RPat-34	241822	8826256	Aguas arriba de la bocatoma de la C.H. Yanapampa, aproximadamente a 650 m
zona II					
6	Río Pativilca	RPat-27*	241102	8825952	Aguas abajo de la bocatoma de la C.H. Yanapampa, aproximadamente a 160 m
7		RPat-37	240766	8826016	Aguas abajo de la bocatoma de la C.H. Yanapampa, aproximadamente a 500 m
8		RPat-36	240927	8825988	Aguas abajo de la bocatoma de la C.H. Yanapampa, aproximadamente a 350 m
9		RPat-28*	240440	8825948	Aguas abajo de la bocatoma de la C.H. Yanapampa, aproximadamente a 830 m
10		RPat-38	240065	8826057	Aguas abajo de la bocatoma de la C.H. Yanapampa, aproximadamente a 1,2 km
11		RPat-6*	239620	8825980	Aguas arriba de la descarga de la C.H. Yanapampa, aproximadamente a 665 m
12		RPat-39	239743	8826040	Aguas abajo de la bocatoma de la C.H. Yanapampa, aproximadamente a 1,5 Km
13		RPat-40	239382	8825975	Aguas arriba de la descarga de la C.H. Yanapampa, aproximadamente a 430 m
14		RPat-41	239225	8826052	Aguas arriba de la descarga de la C.H. Yanapampa, aproximadamente a 265 m
zona III					
15	Río Pativilca	RPat-29*	238588	8826160	Aguas abajo de la descarga de la C.H. Yanapampa, aproximadamente a 400 m
16		RPat-42	238688	8826142	Aguas abajo de la descarga de la C.H. Yanapampa, aproximadamente a 313 m
17		RPat-43	238491	8826167	Aguas abajo de la descarga de la C.H. Yanapampa, aproximadamente a 510 m
18		RPat-30*	238156	8826350	Aguas abajo de la descarga de la C.H. Yanapampa, aproximadamente a 880 m
19		RPat-44	238176	8826328	Aguas abajo de la descarga de la C.H. Yanapampa, aproximadamente a 850 m



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

N.º	Cuerpo receptor	Puntos de muestreo	Coordenadas UTM WGS-84 Zona 18 L		Descripción
			Este (m)	Norte (m)	
20		RPat-45	238122	8826391	Aguas abajo de la descarga de la C.H. Yanapampa, aproximadamente a 930 m

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

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
Zona I								
1	Río Pativilca	RPat-5	x	x	x	x	x	x
2		RPat-35	x	x	x	x	x	x
3		RPat-33	x	x	x	x	x	x
4		RPat-32	x	x	x	x	x	x
5		RPat-34	x	x	x	x	x	x
Total			5	5	5	5	5	5
zona II								
6	Río Pativilca	RPat-27	x	x	x	x	x	x
7		RPat-37	x	x	x	x	x	x
8		RPat-36	x	x	x	x	x	x
9		RPat-28	x	x	x	x	x	x
10		RPat-38	x	x	x	x	x	x
11		RPat-6	x	x	x	x	x	x
12		RPat-39	x	x	x	x	x	x
13		RPat-40	x	x	x	x	x	x
14		RPat-41	x	x	x	x	x	x
Total			9	9	9	9	9	9
zona III								
15	Río Pativilca	RPat-29	x	x	x	x	x	x
16		RPat-42	x	-	x	-	x	x
17		RPat-43	x	x	x	x	x	x
18		RPat-30	x	x	x	x	x	x
19		RPat-44	x	x	x	x	x	x
20		RPat-45	x	x	x	x	x	x
Total			6	6	6	6	6	6

P: Perifiton

MB: macroinvertebrados bentónicos

6.3.3 Parámetros y métodos de análisis

En la Tabla 6.13 se describen las comunidades hidrobiológicas analizadas y los métodos 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 4 monitoreos, 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 junio, julio y setiembre de 2019 se encuentran en los Anexos 2,3 y 4 (Reportes de campo N.º 0337-2019-SSIM, N.º 0338-2019-SSIM y N.º 0433-2019-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 de la Calidad Ecológica de los Ríos Andinos (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						
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						
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) por zonas 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. Yanapampa se encuentra en el Anexo 10 (identificación taxonómica de perifiton y macroinvertebrados bentónicos).

La composición taxonómica de perifiton (microalgas y microorganismos) por zonas se desarrolló en base a la categoría taxonómica phylum; mientras que para las comunidades de macroinvertebrados bentónicos la evaluación de la riqueza 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) se determinó 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 la interpolación de las curvas a un tamaño de muestra determinado en este caso la zona con menor números de muestras colectadas.

a. Curvas de acumulación de especies

Mediante aleatorizaciones de las muestras colectadas en una zona y la interpolación de las curvas generadas por cada zona se pudo conocer la riqueza a un determinado tamaño de muestra (Chiarucci *et al.*, 2008), eliminando de esta forma el efecto del esfuerzo de muestreo debido a la diferente cantidad de muestras colectadas en cada zona.

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:

$$H' = - \sum_{i=1}^n p_i * \ln p_i \quad (6.3)$$

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

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' serian 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:

$$H' = \frac{H'}{H'_{\max}} \quad (6.4)$$

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

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 el índice 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	Ancyliidae	6		Limnephilidae	7
	Hydrobiidae	3		Hydroptilidae	6
	Limnaeidae	3	Hydropsychidae	5	
	Physidae	3	Lepidoptera	Pyralidae	4
	Planorbidae	3	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	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	Ephyridae	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. Análisis de correspondencia canónicas

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 fueron: la comunidad de perifiton y macroinvertebrados bentónicos, mientras que las variables independientes fueron: 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. Para el caso del análisis de correspondencias canónicas usando los parámetros fisicoquímicos, se descartó las variables cuyo límite de detección se repitió muchas veces, seguido por descartar los metales. Para el caso del análisis de correspondencias canónicas usando los metales en sedimentos, se descartó las variables que tuvieron varias correlaciones ($r > 0,700$) entre ellas, dejando solo las que no tuvieron correlación o la tuvieron con muy pocas variables.

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 4 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 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:

$$W = c \cdot L^m \quad (6.6)$$

Donde W es el peso, L es la longitud cefalotorácica o total, y c y m son constantes. El valor numérico de m esta 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:

$$FC = [IW / IL^m] * 100 \quad (6.7)$$

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 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 «Metodología para determinar caudales ecológicos», que sugiere la división del área de influencia en 3 zonas.

Por consiguiente, se incluyó una zona «control», 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 abajo de la bocatoma de la C.H. Yanapampa; y otra zona «influencia», a partir de la restitución del flujo utilizado por la C.H. Yanapampa (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 y/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 control» y la «zona de influencia» y 10 UHM en la «zona caudal reducido» (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 48 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	243604,56	8827145,5	816,05	243594,71	8826992,7	827,47
P19	243612,24	8827173,0	822,87	243602,96	8827168,8	831,73
P20	243613,70	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

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.)
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	242438,20	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	242616,80	8826599,3	778,75
Fin UHM 7	242663,28	8826455,0	775,61	242690,19	8826594,1	790,20

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	UTM WGS 84 Zona 18L		Altitud
	Este (m)	Norte (m)	(m s.n.m.)	(m s.n.m.)	Norte (m)	(m s.n.m.)
UHM1	238947,24	8825886,64	715,43	238958,63	8825871,9	711,22
33	239000,62	8826032,92	720,33	238998,86	8826047,85	728,58
34	239033,93	8826042,81	726,9	239032,16	8826059,73	728,57
UHM2	239013,2	8825907,73	726,48	239018,15	8825890,4	725,75
35	239063,2	8826052,44	725,4	239057,69	8826071,65	731,58
36	239079,88	8826061,64	733,47	239077,79	8826077,45	730,98
UHM3	239059,03	8825928,22	727,2	239065,63	8825909,24	729,36
37	239126,86	8826074,62	736,11	239119,94	8826092,27	729,15
38	239148,32	8826074,12	726,58	239145,39	8826084,83	728,93
UHM4	239139,74	8825924,31	727,21	239140,94	8825910,93	733,08
39	239199,01	8826045,73	726,42	239209,06	8826063,18	735,11
40	239237,13	8826013,93	735,32	239247,29	8826031,38	732,32
UHM5	239273,99	8825835,37	719,21	239265,87	8825823,46	728,39
41	239361,32	8825952,36	735,95	239369,6	8825971,12	732,87
42	239409,26	8825939,23	733,85	239413,26	8825959,73	731,78
UHM6	239425,92	8825795,81	744,33	239427,87	8825784,09	744,18
43	239475,88	8825946,04	736,42	239476,54	8825959,66	730,72
44	239518,75	8825951,35	734,63	239516,56	8825966,05	723,35
UHM7	239497,41	8825809,41	746,04	239495,13	8825792,69	741,84
45	239544,9	8825954,65	732,18	239546,51	8825972,04	744,7
46	239581,05	8825966,1	728,12	239580,77	8825987,13	746,21
UHM8	239577,19	8825841,67	740,24	239573,23	8825814,97	733,52
47	239623,33	8826005,93	743,45	239621,8	8826004,71	738,37
48	239666,9	8826005,49	729,39	239667,34	8826019,44	740,32
UHM9	239685,66	8825872,82	742,21	239766,74	8825864,81	734,25
49	239794,62	8826025,62	726,66	239800,85	8826041,16	729,91
50	239832,52	8826023,36	754,84	239832,73	8826038,19	723,4
UHM10	239847,57	8825887,9	733,16	239845,3	8825869,84	739,68
51	239922,15	8826027,36	737,72	239919,73	8826044,06	747,63
52	239955,47	8826022,42	728,96	239950,58	8826046,17	746,57
Fin UHM10	239986,25	8825892,05	735,78	239986,53	8825870,15	737,71

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

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.)	Este (m)	Norte (m)	(m s.n.m.)
UHM1	238486,64	8826003,95	718,48	238505,9	8826129,28	725,91
53	238507,82	8826135,71	725,08	238514,68	8826154,91	718,69
54	238530,56	8826155,25	721,23	238530,32	8826156,91	726,84
UHM2	238521,95	8825995,92	726,39	238552,82	8826120,77	721,97



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.)	Este (m)	Norte (m)	(m s.n.m.)
55	238581,97	8826161,29	727,75	238578,49	8826157,61	725,04
56	238601,25	8826158,67	720,49	238593,05	8826157,17	729,71
UHM3	238601,33	8825995,53	713,18	238631,69	8826115,86	727,96
57	238652,08	8826155,41	712,13	238643,94	8826146,38	711,79
58	238698,48	8826143,93	684,46	238678,05	8826138,24	721,16
UHM4	238738,92	8825927,21	716,56	238766,77	8826075,95	731,28
59	238815,62	8826072,78	712,71	238808,74	8826070,74	734,72
60	238851,07	8826061,1	721,19	238846,71	8826058,86	726,45
UHM5	238873,5	8825880,43	727,8	238901,59	8826012,58	720,7
61	238302,37	8826301,68	719,55	238309,45	8826335,04	724,06
62	238310,97	8826292,89	720,93	238326,74	8826321,56	717,55
UHM6	238265,22	8826181,63	722,82	238242,08	8826144,05	720,5
63	238393,98	8826248,16	718,01	238409,7	8826267,64	720,48
64	238425,2	8826217,41	719,17	238446,56	8826229,53	725,76
UHM7	238345,83	8826134,78	726,28	238336,45	8826115,56	711,48
65	238445,25	8826186,91	713,74	238464,28	8826202,77	716,03
66	238484,14	8826154,23	719,73	238493,76	8826171,35	719,37
Fin UHM7	238423,75	8826066,88	715,78	238400,9	8826049,55	712,37

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 a lo preconizado por Parasiewicz (2007) y Vezza *et al.* (2012) (Tabla 6.24).

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

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 sumergida), 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,	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
				restos de troncos, sombra de cobertura ribereña, vegetación sobresaliendo de la orilla.	
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 (profundo medianamente rápido), , deep fast(profundo y rápido)	Observacional
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.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

Fuente : Modificado de Parasiewicz (2007) y Vezza *et al.* (2012)**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
<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.
<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 (Sugio, 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

$$Q=A*V \quad (6.8)$$

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. Yanapampa 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 ecosistémico²² MesoHABSIM (Parasiewicz, 2001; Parasiewicz, 2007). Este enfoque de modelamiento permitió calcular cuánto hábitat estuvo disponible para la especie *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 para la especie *Cryphiops caementarius* (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.

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 *Cryphiops caementarius*.
- 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.

²² El término «ecosistémico» es adoptado en vez de «holístico» como es sugerido por Arthington (2012).



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

Asimismo, para discernir entre un hábitat adecuado y uno no-adequado, se usó variables binarias-dependientes indicando presencia/ausencia de camarones mientras que 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 especificó 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 siguiente ecuación:

$$p = \frac{1}{(1 + e^{-z})} \quad (6.9)$$

Donde:

p es la probabilidad de presencia/alta abundancia;

$Z = b_1 * X_1 + b_2 * X_2 + \dots + b_n * X_n + a$; $X_1 \dots$

n = variables físicas significativas

$b_1 \dots n$ son los coeficientes de regresión.

Posteriormente, la probabilidad fue 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 optima-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 recopilaron 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

Se analiza los resultados obtenidos durante la evaluación ambiental en el área de influencia de la C.H. Yanapampa 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 0340-2019-SSIM; 0412-2019-SSIM; 0442-2019-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.



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

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 julio y setiembre de 2019, en los puntos de muestreo RPat-5 y RPat-27 (Cat3D1 y Cat3D2); en julio 2019, en los puntos de muestreo RPat-28, RPat-29, RPat-30 y RPat-31 (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.



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

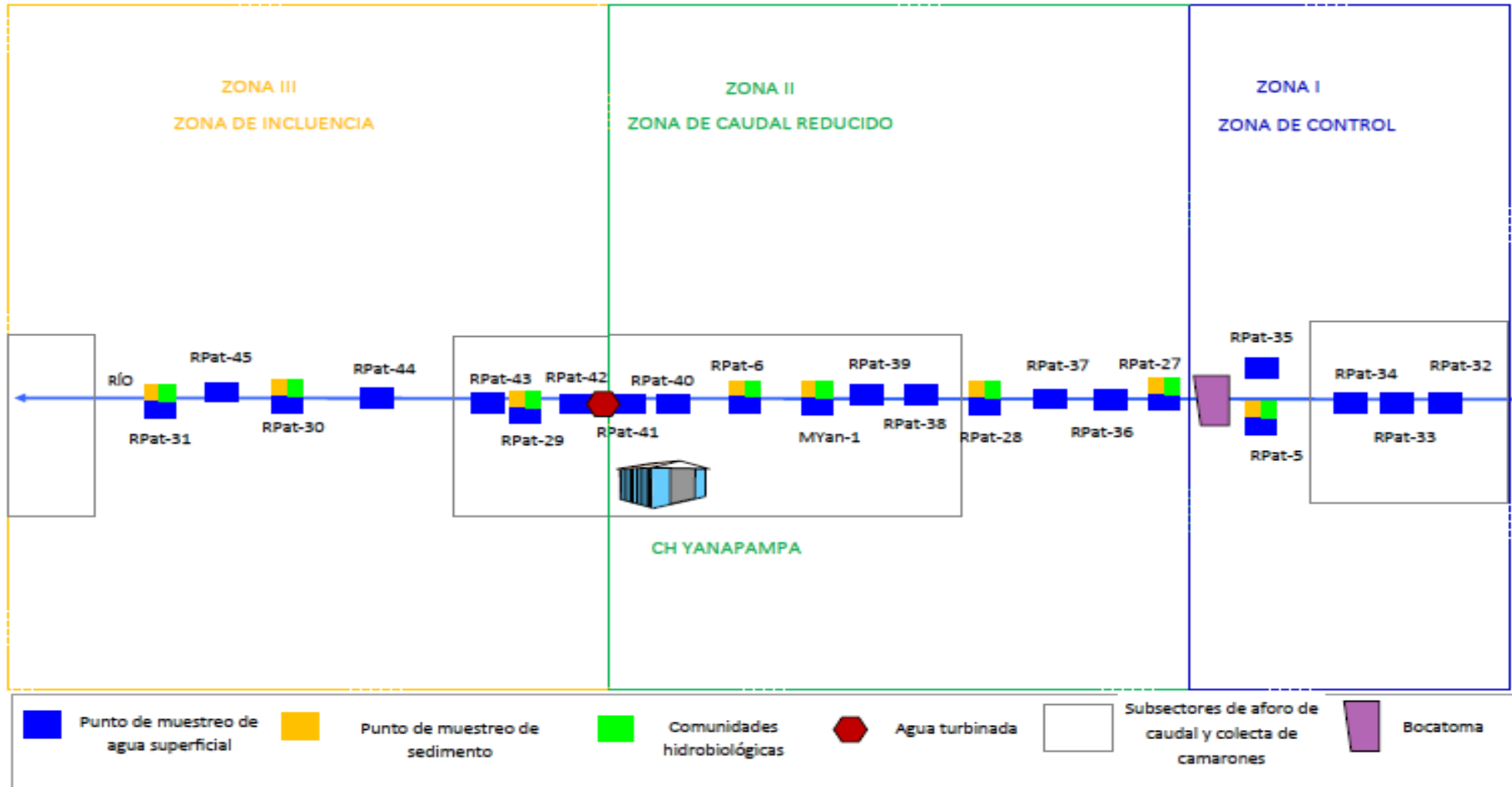


Figura 7.1. Esquema de distribución de puntos evaluados en el área de influencia de la C.H. Yanapampa



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 (RPat-5, RPat-27, RPat-28), Manantial Yanapampa (MYan-1), and Río Pativilca (RPat-29, RPat-30, RPat-31).

ECA: Estándares de Calidad Ambiental para Agua. Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM. Fuente: Anexo 5 (R.R.0340-2019-SSIM), Anexo 6 (R.R..0412-2019-SSIM), Anexo 7 (R.R.0442-2019-SSIM) (*) Punto no evaluado en setiembre 2019

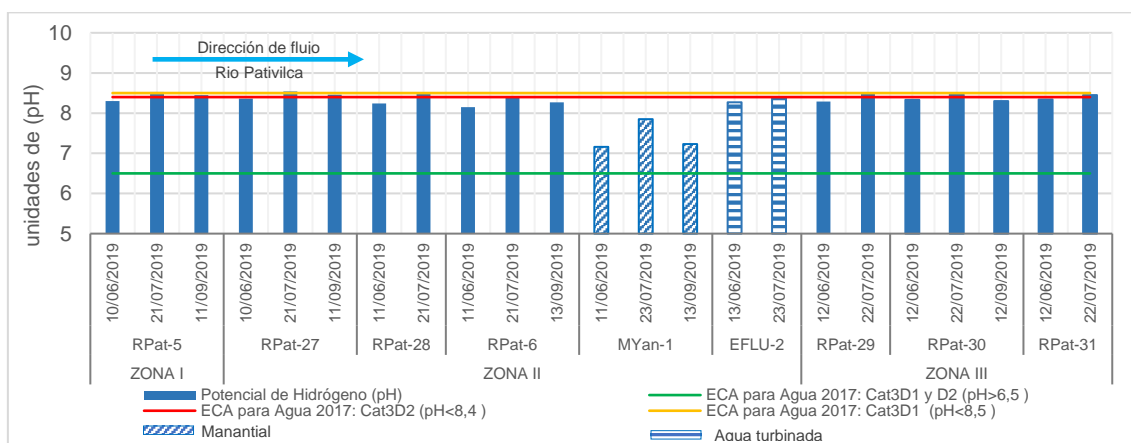


Figura 7.2. Valores de potencial de hidrogeno (pH) comparada con los ECA para Agua (2017) categoría 3: D1 y D2. Los puntos de aguas turbinadas fueron graficados para ver la variación temporal.

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 8,30 unidades de pH a 8,53 unidades de pH; la conductividad eléctrica varió entre 412 µS/cm a 453 µS/cm; el oxígeno disuelto entre 5,47 mg/L a 8,58 mg/L y la temperatura 19, 3 °C a 22, 4 °C.

En la zona II la variación fue: entre 8,15 unidades de pH a 8,54 de unidades de pH; la conductividad eléctrica entre 390 µS/cm a 464 µS/cm; el oxígeno disuelto entre 7,85 mg/L a 8,58 mg/L y la temperatura entre 19, 8 °C a 22,1 °C.

En el manantial de Yanapampa (MYan-1) el valor de pH varió entre 7,16 unidades de pH a 7,85 de unidades de pH; la conductividad eléctrica varió entre 410 a 448 µS/cm; el oxígeno disuelto varió de 5,47 mg/L a 5,94 mg/L; la temperatura varió de 22,0 a 23,7 °C.



En la zona III la variación fue de 8,29 unidades de pH a 8,49 de unidades de pH, la conductividad eléctrica varió entre 387 μ S/cm a 522 μ S/cm; el oxígeno disuelto varió de 8,06 mg/L a 8,68 mg/L y la temperatura varió de 19,0 °C a 20,7 °C.

En el punto de agua turbinada el valor de pH varió entre 8,27 unidades de pH a 8,37 de unidades de pH; la conductividad eléctrica varió entre 401 μ S/cm a 535 μ S/cm. El oxígeno disuelto varió de 8,25 mg/L a 8,30 mg/L y la temperatura varió de 19,7°C a 20,0 °C.

Adicionalmente, en las Figuras 7.4 y 7.5 se muestra la variación de los sólidos suspendidos totales y sólidos suspendidos disueltos respectivamente. Los sólidos totales disueltos muestran similar concentración en todos los puntos de muestreo y los 3 meses evaluados, sin embargo, respecto a los sólidos totales suspendidos se aprecia que en el mes de junio se registraron los más altos valores de sólidos totales suspendidos respecto a los meses de julio y setiembre (Figura 7.4)

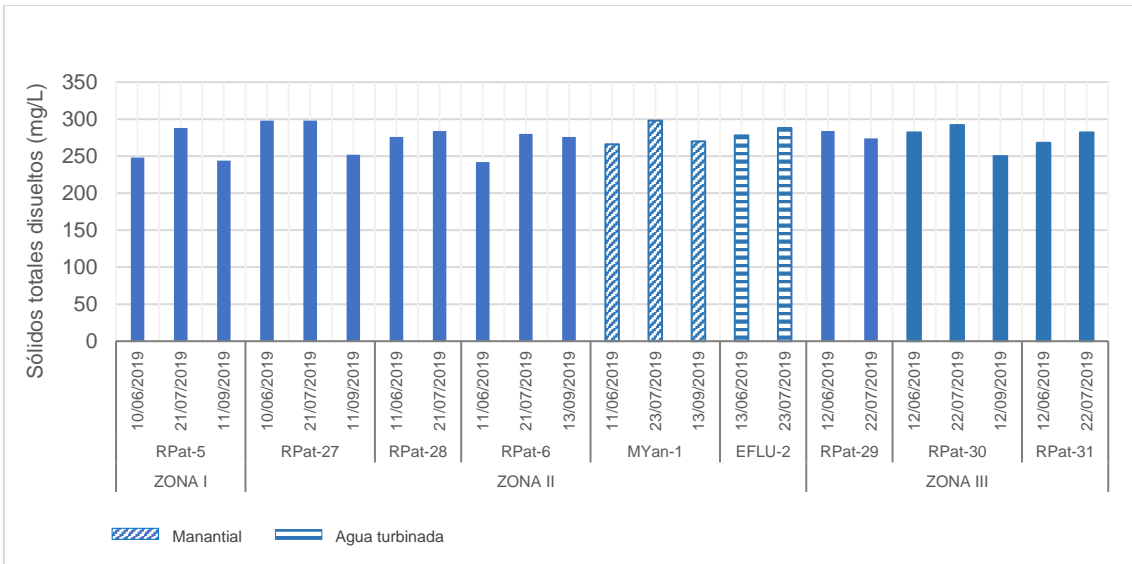


Figura 7.3. Valores de sólidos totales disueltos

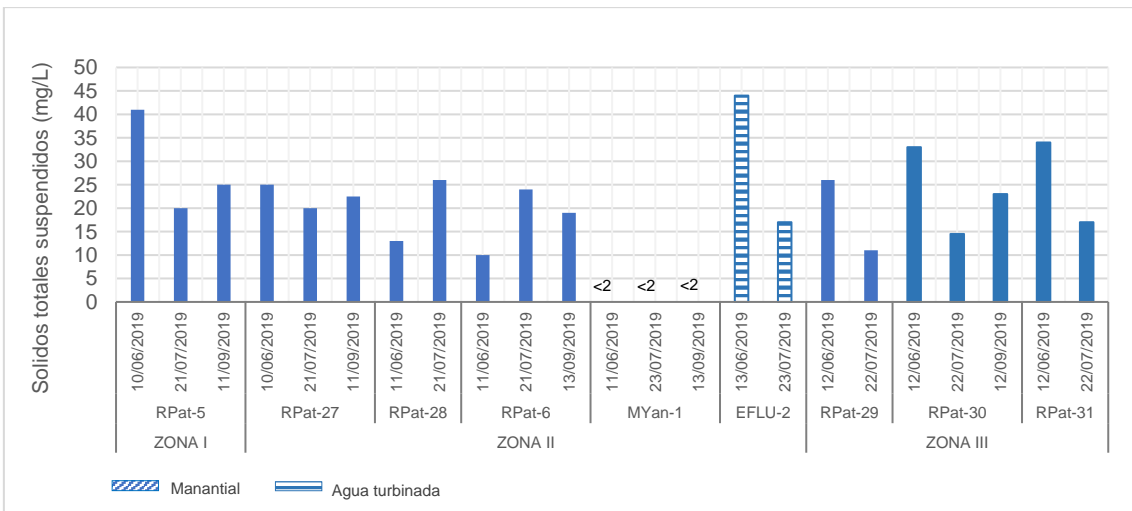


Figura 7.4. Valores de sólidos totales suspendidos

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 de 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 solo considerando los puntos de muestreo de junio y julio 2019 por la menor cantidad de puntos evaluados en el mes de setiembre 2019. Estas relaciones estuvieron indicadas por el cuadrado del coeficiente de correlación de Pearson o coeficiente de determinación (R^2).

De esa manera, en la Figura 7.5 se muestra la relación lineal entre la conductividad y los STD en los cuerpos de agua evaluados, estos obtuvieron una correlación para el mes de junio y julio con un R^2 de 0,604, siendo una correlación aceptable entre los parámetros para todas las temporadas ($R^2 > 0,604$).

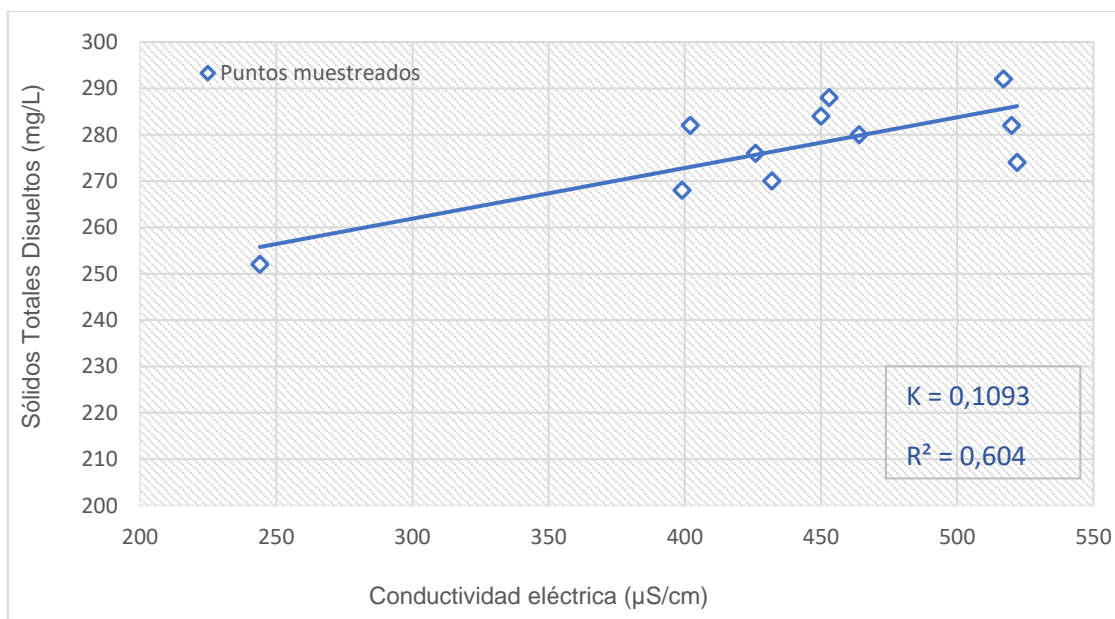


Figura 7.5. Relación lineal entre la conductividad y los sólidos disueltos totales (SDT) de los puntos de muestreo evaluados en junio, julio 2019

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. Yanapampa

Table with 25 columns representing elements (Al, As, B, Ba, Ca, Co, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Sb, Se, Sr, Ti, U, Zn) and rows for sampling points (RPat-5, RPat-27, RPat-28, RPat-6, MYan-1, RPat-29, RPat-30, RPat-31) grouped by month (Junio, Julio, Setiembre). Values are percentages, with some cells marked as N.D. (Not Determined).

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 y estroncio en todos los puntos de muestreo y en los 3 meses de monitoreo (junio, julio y setiembre de 2019).

El hierro predominó en su forma suspendida en todos los puntos de muestreo, a excepción del punto de muestreo MYan-1 en junio, julio y setiembre 2019.

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 0,668 (regular) con una varianza de 80,50 % (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 (KMO): 0,668			
	Eigenvalue	% Total	Cumulative	Cumulative
Factor 1	12,17959	60,89796	12,17959	60,89796
Factor 2	3,92086	19,60428	16,10045	80,50224

Con respecto a las cargas (*loadings*) (Tablas 7.4 y 7.5), los siguientes parámetros asociados a un factor registraron valores absolutos mayores a 0,7:

Factor 1: parámetros: fósforo total, aluminio, cerio, cobalto, cobre, hierro, manganeso, fósforo, plomo, zinc.

Factor 2: pH, oxígeno disuelto y boro.

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

Variable	Factor Loadings (Varimax raw) Extraction: Principal factors (comm.= multiple R-square) (Marked loadings are >,700000)	
	Factor 1	Factor 2
Potencial de Hidrógeno (pH)	0,155491	0,931605
Oxígeno Disuelto (OD)	0,229203	0,933210
Bicarbonato	-0,154774	-0,807215
Sólidos Totales Suspendidos	0,618255	0,524109
Nitratos, NO ₃ -	-0,155663	-0,825254
Fósforo Total	0,748554	0,009198
Aluminio (Al)	0,906163	0,294079
Arsénico (As)	0,597811	0,523020
Boro (B)	-0,033938	0,837261
Cerio (Ce)	0,927975	0,059127
Cobalto (Co)	0,840355	0,500910
Cobre (Cu)	0,835606	0,263217
Hierro (Fe)	0,813134	0,566796
Manganeso (Mn)	0,918489	0,366535
Molibdeno (Mo)	-0,264488	-0,893650
Níquel (Ni)	0,695954	0,681893
Fósforo (P)	0,918493	0,020307
Plomo (Pb)	0,786070	0,010618
Titanio (Ti)	0,832722	0,090566
Uranio (U)	-0,283489	-0,913494

: Parámetros con puntajes mayor al 70%

En relación con las puntuaciones (*scores*) estandarizados de los puntos de muestreo (Tabla 7.5), junto con las cargas de los parámetros estandarizados para cada factor se visualizaron con el diagrama biplot para los parámetros fisicoquímicos (STS y STD) y metales disueltos.

**Tabla 7.5.** Puntuaciones (scores) de factores considerando los parámetros fisicoquímicos

Punto de muestreo	Factor Scores	
	Rotation: Varimax raw	
	Extraction: Principal factors (comm = multiple R-square)	
	Factor 1	Factor 2
RPat-5_Jun	1,45902	-0,25215
RPat-27_Jun	0,51916	0,24122
RPat-28_Jun	-0,22687	0,40411
RPat-6_Jun	-1,10771	-0,06965
Myan-1_Jun	-0,76008	-2,33150
RPat-29_Jun	3,18050	-0,33822
RPat-30_Jun	-0,08111	0,58008
RPat-31_Jun	-0,30203	0,46719
RPat-5_Jul	-0,74444	0,92960
RPat-27_Jul	-0,69293	1,08599
RPat-28_Jul	-0,21596	0,68317
RPat-6_Jul	-0,56228	0,52968
MYan-1_Jul	-0,73605	-2,15659
RPat-29_Jul	-0,61900	0,54570
RPat-30_Jul	-0,10729	0,43669
RPat-31_Jul	0,10628	0,01048
RPat-5_Set	-0,27517	0,58829
RPat-27_Set	-0,27276	0,76316
MYan-1_Set	-0,58801	-2,50514
RPat-6_Set	0,37622	-0,34640
RPat-30_Set	-0,14720	0,11742
EFLU-2_Jun	2,28475	-0,17170
EFLU-2_Jul	-0,48704	0,78856

Los puntos de muestreo RPat-5, RPat-29 y EFLU-2 mostraron una mejor correlación con el factor 1, con una predominancia de metales en su forma disuelta. Se aprecia además una mayor concentración de sólidos suspendidos totales en el punto de muestreo EFLU-2 y el punto de muestreo MYan-1 registro la más baja concentración de sólidos totales suspendidos. Asimismo, se registró un incremento en las concentraciones de algunos 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).

Los puntos de muestreo evaluados de agua superficial y agua turbinada en los meses de junio, julio y setiembre 2019 mostraron un comportamiento similar asociados en su forma suspendida al boro, pH y oxígeno disuelto y asociados a su forma suspendida con los demás metales (Figura 7.7). Se aprecia además que en junio en todos los puntos se registró las mayores concentraciones de sólidos totales suspendidos.

El manantial Yanapampa (MYan-1) se correlaciono con los nitratos y los metales uranio, bicarbonato y molibdeno predominantes en su forma disuelta. Asimismo, el agua turbinada (EFLU-2) registro mayor concentración de sólidos totales suspendidos en junio 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

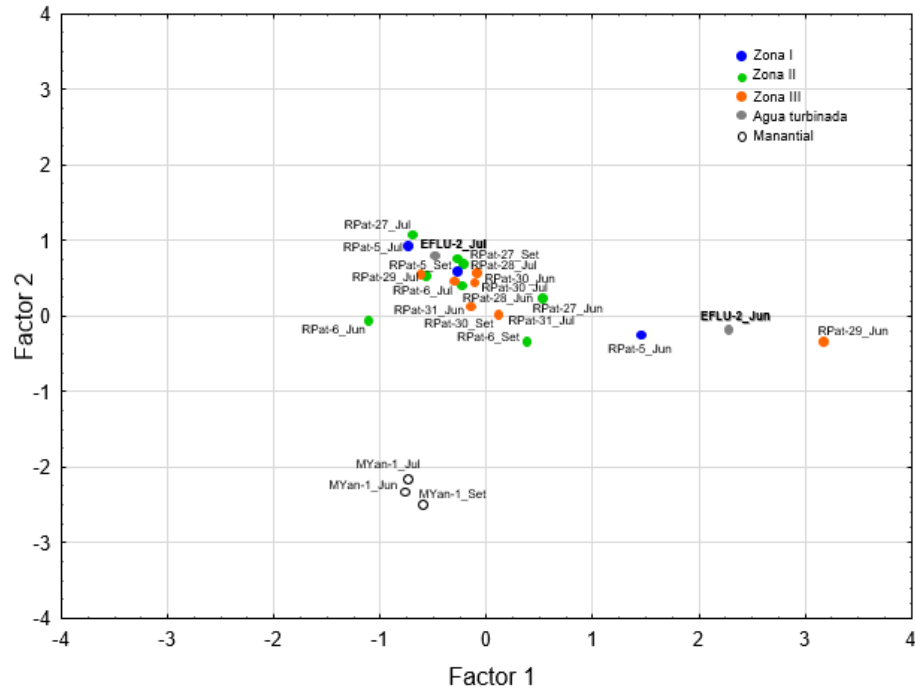


Figura 7.6. Diagrama de las puntuaciones de los factores 1 y 2 del muestreo de junio, julio y setiembre de 2019 en el río Pativilca en el tramo de influencia de la C.H. Yanapampa.

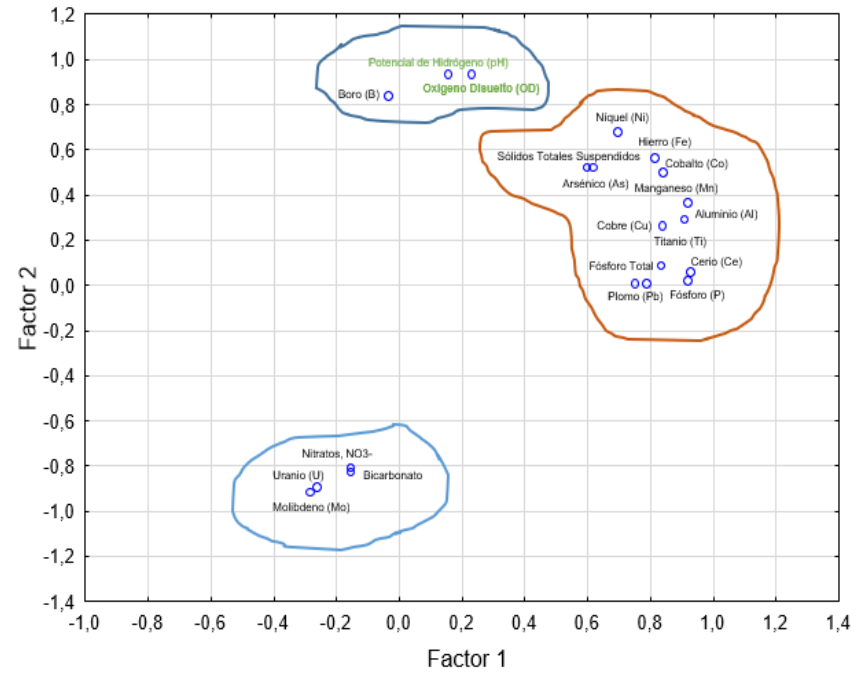


Figura 7.7. Diagrama de las cargas de los factores 1 y 2 del muestreo de junio, julio y setiembre de 2019 en el río Pativilca, en el tramo de influencia de la C.H. Yanapampa.

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 para la zona II. La misma tendencia se da para los parámetros oxígeno disuelto, hierro, bicarbonato y sólidos totales suspendidos (Figura 7.9).

Para el caso de nitratos la variación de máximos y mínimos fue mayor en la zona I a diferencia de la zona III que tuvo poco rango de variación durante junio, julio y setiembre 2019 (Figura 7.10 similar comportamiento registro los nitratos (Figura 7.11).

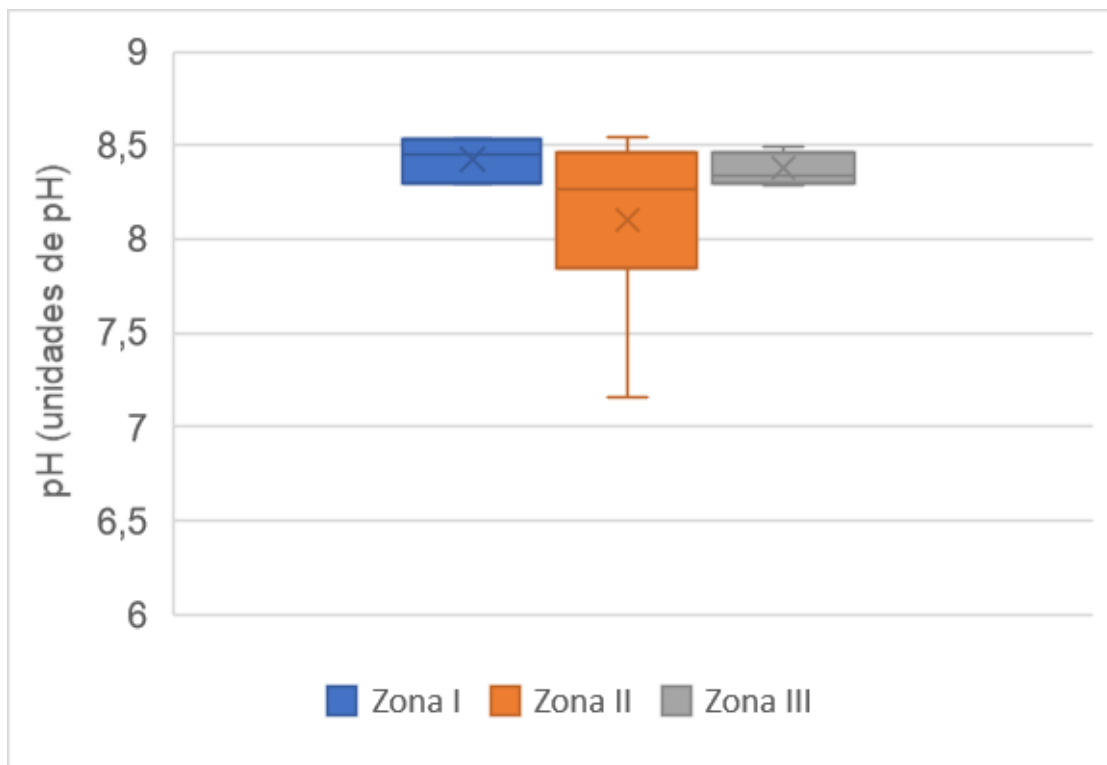


Figura 7.8. Diagrama de cajas y bigotes para potencial de hidrógeno (pH) por zonas

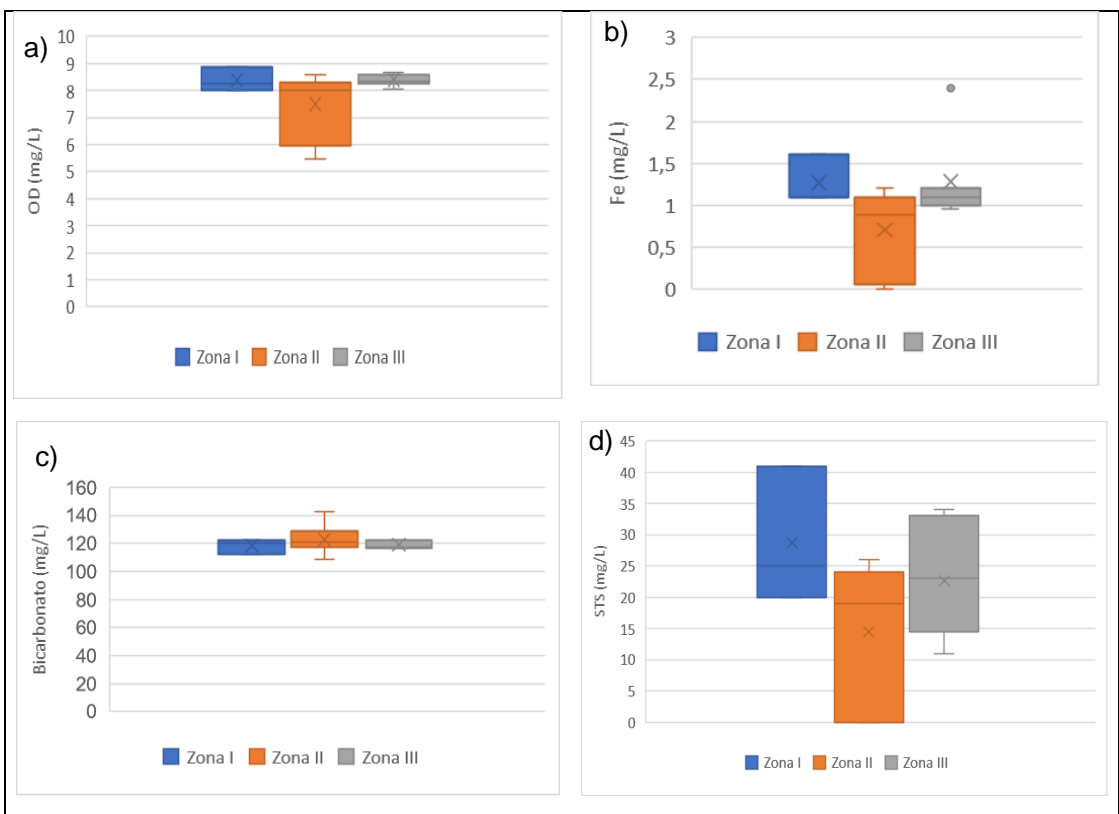


Figura 7.9. Diagrama de cajas y bigotes para variación de a) O.D., b) hierro, c) bicarbonato, d) STS por zonas

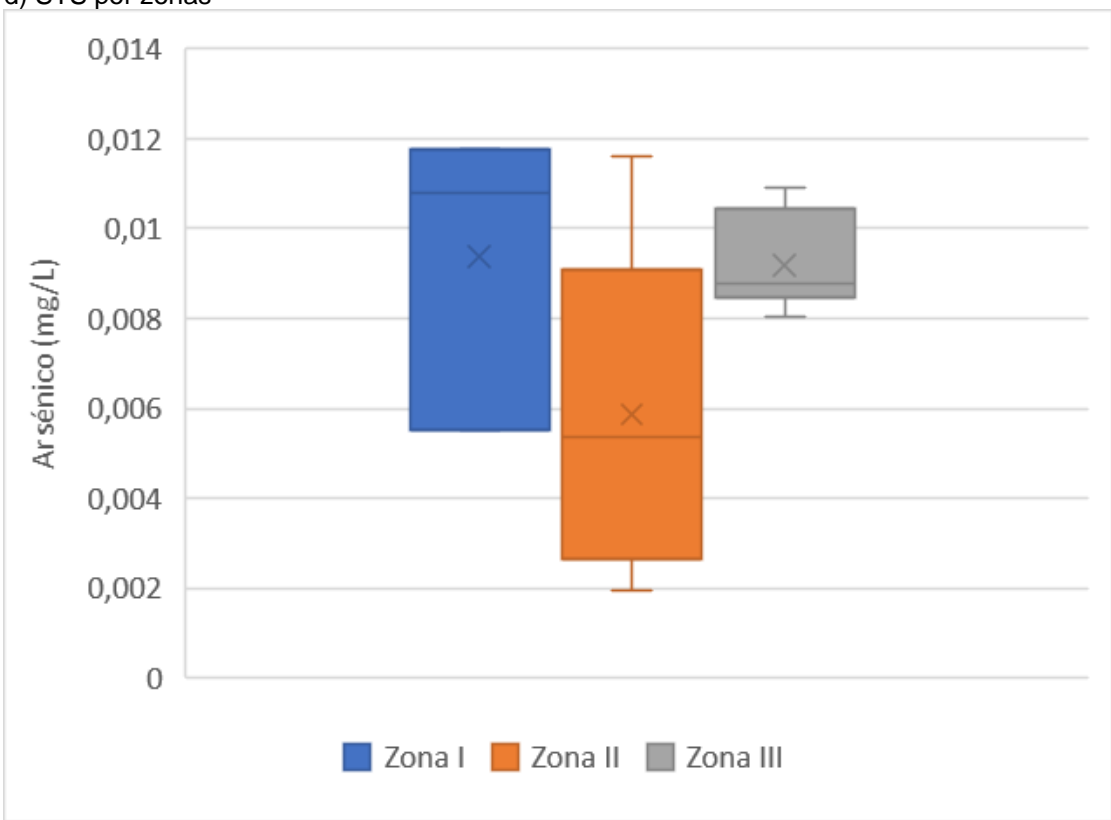


Figura 7.10. Diagrama de cajas y bigotes para variación de arsénico total por zonas

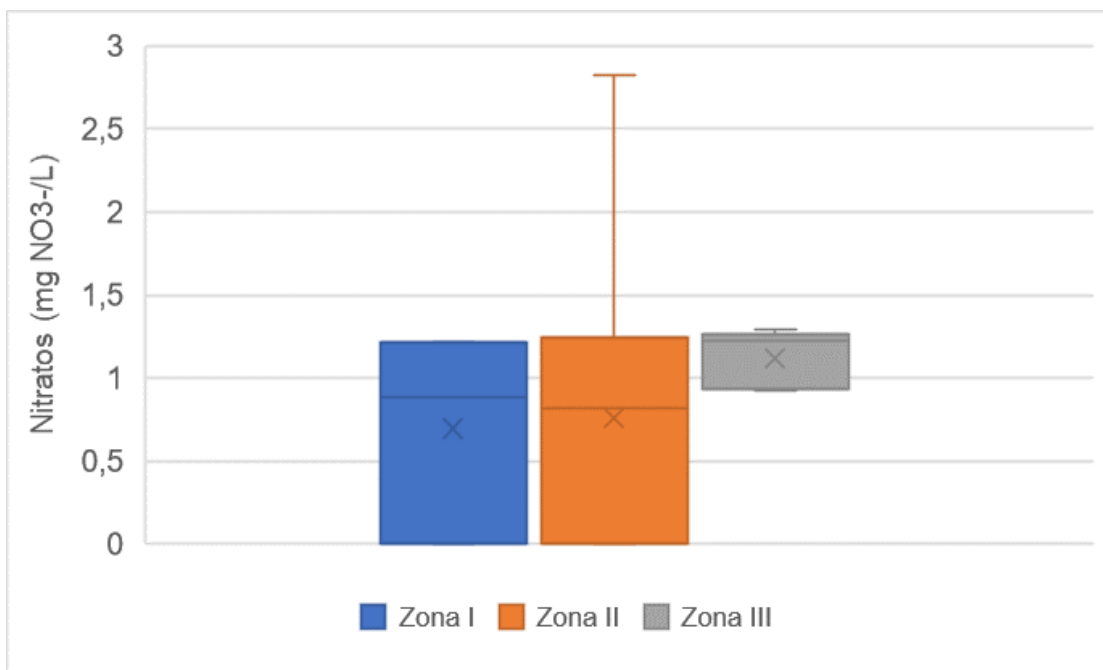


Figura 7.11. Diagrama de cajas y bigotes para variación de nitratos total por zonas

7.2 Sedimento

En los anexos 5, 6 y 7 (reportes de resultados 0340-2019-SSIM; 0412-2019-SSIM; 0442-2019-SSIM) se encuentran todos los resultados de los parámetros evaluados en los sedimentos colectados (metales, granulometría y materia orgánica) en el río Pativilca.

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 0340-2019-SSIM; 412-2019-SSIM; 0442-2019-SSIM) se encuentra el detalle de los resultados para todos los parámetros evaluados en el sedimento del río Pativilca 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 total
		(mg/Kg)	(mg/Kg)	(mg/Kg)	(mg/Kg)	(mg/Kg)	(mg/Kg)	(mg/Kg)
RPat-5	junio	29,2	< 1,0	6,2	10,4	< 10	47,6	< 0,10
	julio	17,7	< 1,0	5,3	9,1	< 10	42,7	< 0,10
	setiembre	134	3,5	10	38,1	39,4	315,1	0,16
RPat-27	junio	72,2	< 1,0	6,5	14,8	23	63,6	< 0,10
	julio	< 17,5	< 1,0	5,5	5,5	< 10	35,4	< 0,10
RPat-28	junio	50,5	< 1,0	6,9	13,8	19	63	< 0,10
	julio	46,4	< 1,0	6,1	13,1	17	56	< 0,10
RPat-6	junio	69,8	< 1,0	6,6	14,4	22	70	< 0,10
	julio	25,4	< 1,0	6,5	11,6	10	46,6	< 0,10
RPat-29	junio	60,5	< 1,0	6,8	11,6	16	51,4	< 0,10
	julio	39,8	< 1,0	6,7	9,2	< 10	51,2	< 0,10



Código	Parámetros							
	Arsénico	Cadmio	Cromo	Cobre	Plomo	Zinc	Mercurio total	
	(mg/Kg)	(mg/Kg)	(mg/Kg)	(mg/Kg)	(mg/Kg)	(mg/Kg)	(mg/Kg)	
RPat-30	junio	62,3	< 1,0	6,7	13,8	18	62,6	< 0,10
	julio	31,7	< 1,0	6	10,7	< 10	50,8	< 0,10
	setiembre	52,2	< 1,0	10,1	26,8	28,7	109,5	< 0,10
RPat-31	junio	21,8	< 1,0	16	19,7	32	78,4	< 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

Superó el valor ISQG
 Superó el valor ISQG y PEL

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

7.2.2 Evaluación granulométrica y contenido de materia orgánica

Del análisis granulométrico de sedimentos de textura con mayor presencia de arena muestreados en los meses de junio, julio y setiembre 2019 se puede observar de acuerdo con las Figuras 7.12, Figura 7.13 y 7.14 que los puntos de muestreo presentan una granulometría uniforme pobremente gradada, los sedimentos en la zona I (RPat-5), zona II (RPat-27 y RPat-6) y la zona III (RPat-29, RPat-30 y RPat-31) a diferencia de los puntos RPat-6 en junio y RPat-5 donde se registraron contenido significativo de arenas y limos.

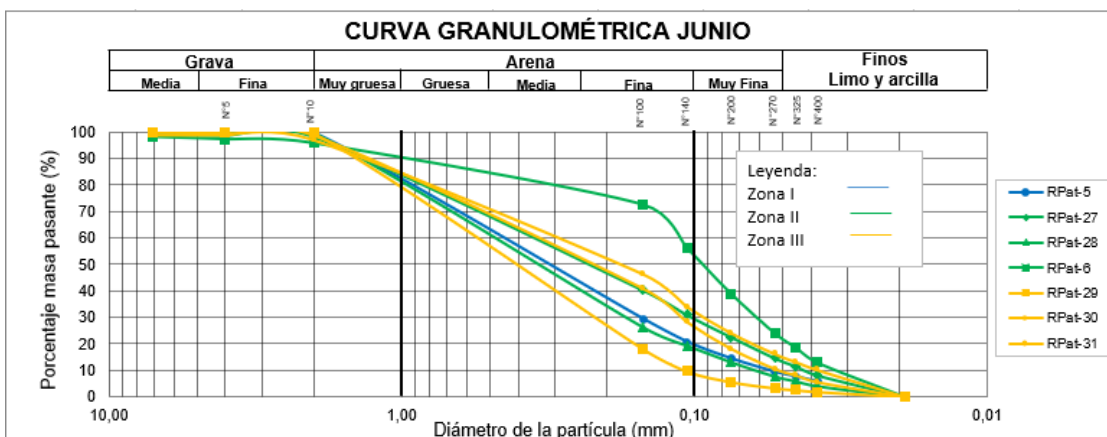


Figura 7.12. Distribución granulométrica de los sedimentos evaluados – junio 2019

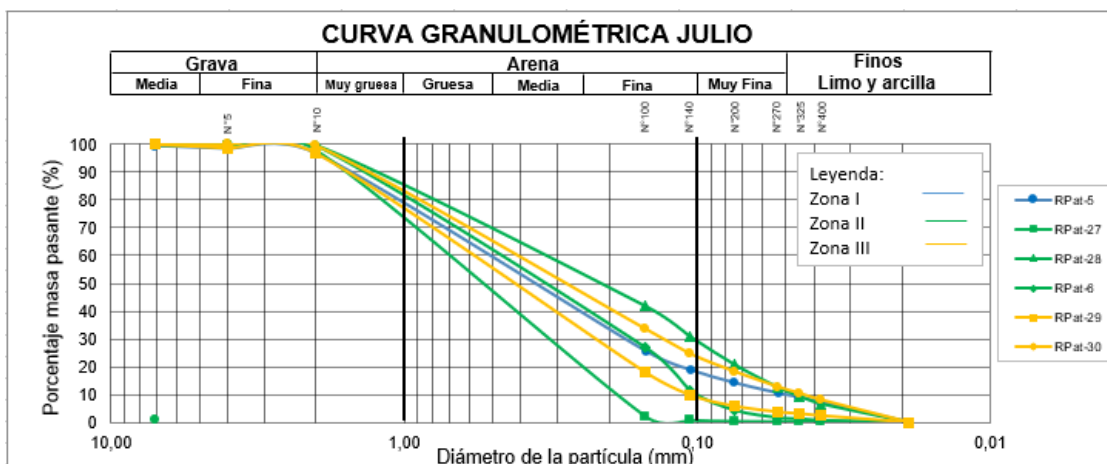




Figura 7.13. Distribución granulométrica de los sedimentos evaluados – julio 2019

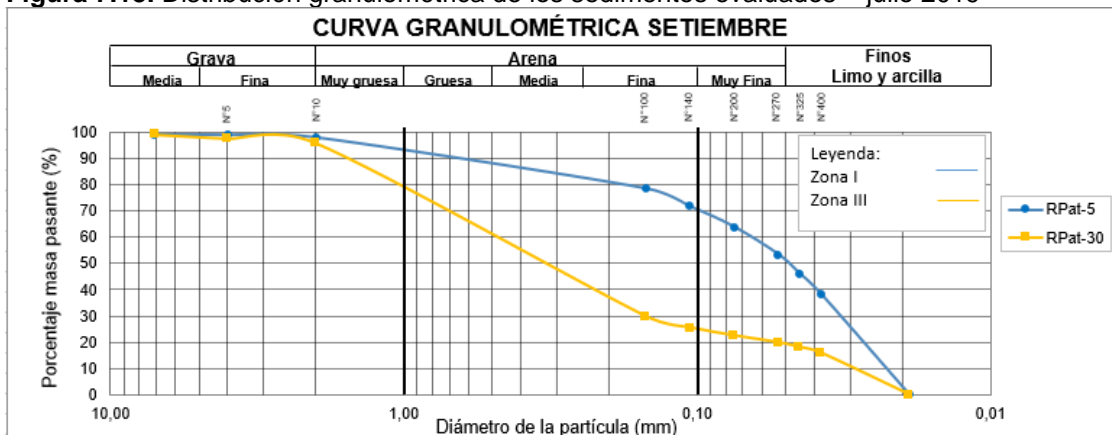


Figura 7.14. Distribución granulométrica de los sedimentos evaluados – setiembre 2019

Respecto a la presencia de materia orgánica en los sedimentos se registró un porcentaje en los puntos de muestreo RPat-5 y RPat-30 (en setiembre 2019) y RPat-31 (en junio 2019) (Figura 7.15).

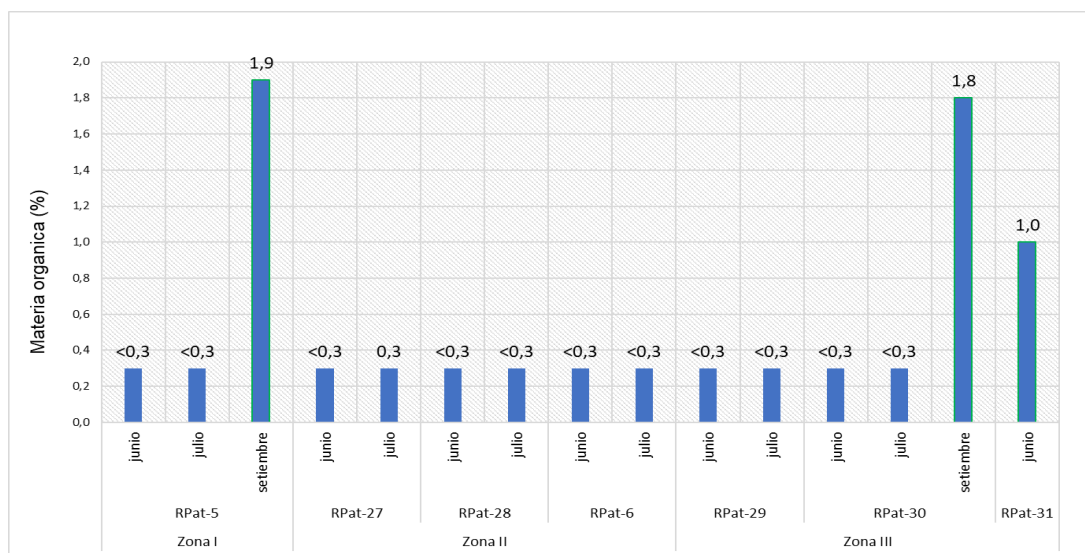


Figura 7.15. Presencia de materia orgánica en los sedimentos evaluados en junio, julio y setiembre 2019

7.2.3 Análisis multivariado

De acuerdo con los resultados obtenidos para el análisis de parámetros fisicoquímicos seleccionados se obtuvo un valor de test de KMO de 0,759 (regular) con una varianza de 93,56 % (Tabla 7.7)

**Tabla 7.7.** Test de KMO y explicación de la varianza

Factor	Eigenvalues (Spreadsheet24) Extraction: Principal factors (comm=multiple R-square) Test: Kaiser-Meyer-Olkin (KMO): 0,759			
	Eigenvalue	% Total	Cumulative	Cumulative
Factor 1	10,79751	83,05776	10,79751	83,05776
Factor 2	1,36552	10,50398	12,16303	93,56175

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: calcio, cobalto, cromo, cobre, hierro, manganeso, zinc y silicio.

Factor 2: aluminio, fósforo y magnesio.

Tabla 7.8. Cargas (*loadings*) de 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)	0,447310	0,889181
Bario (Ba)	0,653181	0,621627
Calcio (Ca)	0,784168	0,408391
Cobalto (Co)	0,948543	0,291533
Cobre (Cu)	0,798845	0,575423
Hierro (Fe)	0,803098	0,517463
Manganeso (Mn)	0,811450	0,509172
Níquel (Ni)	0,962640	0,229797
Zinc (Zn)	0,962191	0,260093
Fósforo (P)	0,482195	0,855992
Silicio (Si) *	0,736526	0,657117
Estroncio (Sr) *	0,637704	0,745620
Magnesio (Mg)	0,070235	0,955562

■ : Parámetros con puntajes mayores a 0,7

La Tabla 7.9 muestra las puntuaciones (*scores*) estandarizados de los puntos de muestreo (Tabla 7.9), 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 considerando metales

Puntos de muestreo	Factor Scores Rotation: Varimax raw Extraction: Principal factors (comm.=multiple R-square)	
	Factor 1	Factor 2
RPat-5_Jun	-1,40782	1,37650
RPat-27_Jun	-0,36231	0,12120
RPat-28_Jun	0,70107	-1,26441
RPat-6_Jun	0,45111	-1,12088
RPat-29_Jun	1,01179	-2,23972
RPat-30_Jun	-0,82732	0,67387
RPat-31_Jun	-0,59092	1,34763
RPat-5_Jul	-0,07362	-0,93477
RPat-27_Jul	0,26101	-1,86692
RPat-28_Jul	-0,38757	0,35478



Puntos de muestreo	Factor Scores Rotation: Varimax raw Extraction: Principal factors (comm.=multiple R-square)	
	Factor 1	Factor 2
RPat-6_Jul	0,53195	-1,63791
RPat-29_Jul	-1,05433	0,64235
RPat-30_Jul	-1,63617	1,39530
RPat-30_Set	-0,21320	3,08144
RPat-5_Set	3,596334	0,07156

■: Parámetros con correlación mayor a 3

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, los puntos de muestreo RPat-30 de textura con presencia de arcilla y limo en setiembre y los puntos de muestreo RPat-5 y RPat-31 también con presencia de arcilla y limo en junio 2019 tuvieron una mayor correlación con los metales asociados al factor 1. Para setiembre 2019 el punto de muestreo RPat-30 con textura franca tuvo mayor correlación con los metales asociados al factor 2.

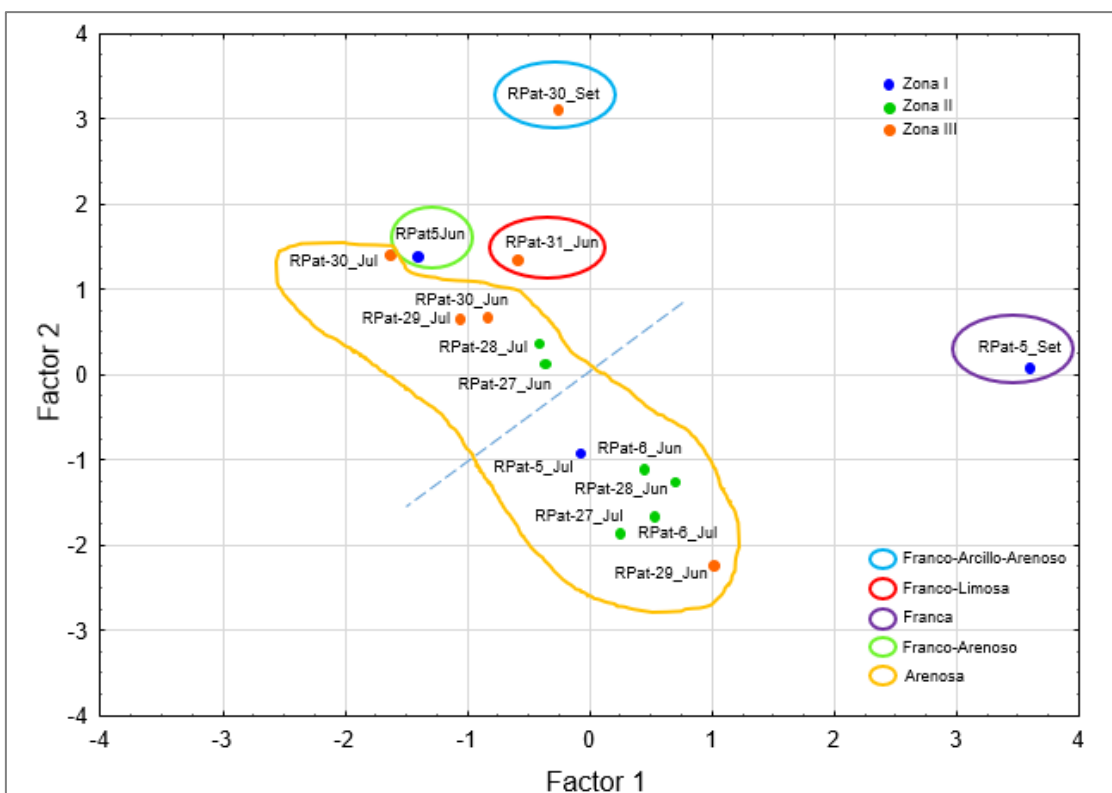


Figura 7.16. Diagrama de puntuaciones de los factores 1 y 2 de muestreo en junio, julio y setiembre de 2019 en el río Pativilca en el tramo de influencia de la C.H. Yanapampa.

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 cromo que registró mayores concentraciones en la zona III.

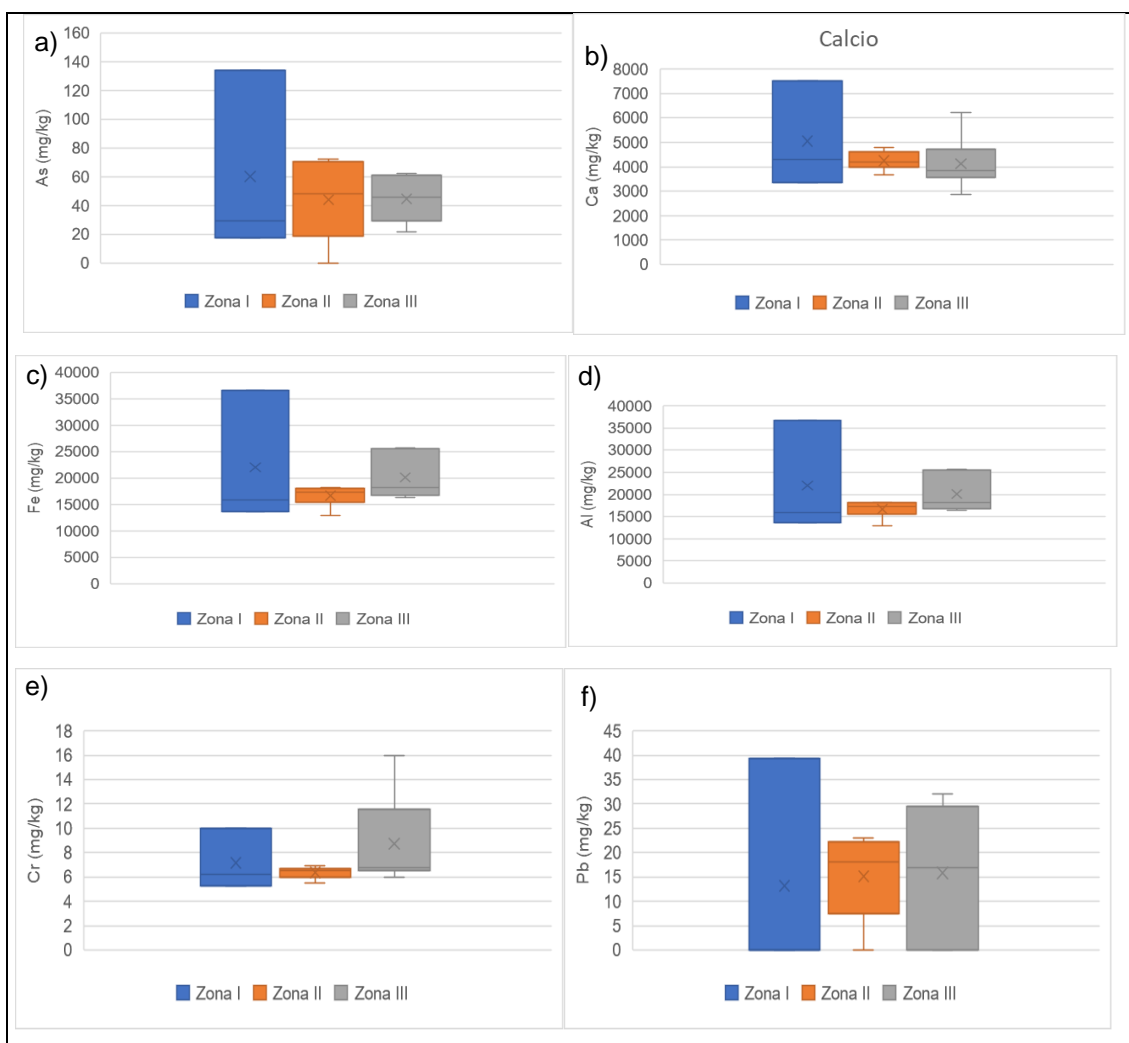


Figura 7.17. Diagrama de cajas y bigotes de concentración metales en sedimentos: a) arsénico, b) calcio, c) hierro, d) aluminio, e) cromo y f) plomo

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 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 referencia

La Tabla 7.10 muestra los resultados de la valoración de las posibles presiones externas en cada zona de evaluación (Zona I, Zona II, Zona III). En la Figura 7.18: Las zonas I, II y III estuvieron por debajo del valor de referencia establecido en el CERA (Acosta, 2009), compartiendo la alteración hidrológica como una presión externa común. La Zona II tuvo como característica hidrológica adicional, la alteración del caudal para la Central Hidroeléctrica Yanapampa, otras características que compartieron fue la presencia de construcciones cercanas, en este caso la carretera que recorría las tres zonas de evaluación y la presencia de agricultura a las orillas del río Pativilca.



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
Cuenca			
Cobertura de especies introducidas	3	3	3
Porcentaje de cobertura en pastos artificiales	1	1	1
Porcentaje de cobertura en usos urbanos	5	5	3
Ausencia de vegetación autóctona			
Explotaciones mineras	5	5	5
Explotaciones ganaderas intensivas	5	5	5
hidrología			
Presencia de grandes presas aguas arriba del lugar	1	1	1
Derivaciones de agua para hidroeléctricas	5	1	5
Trasvases a otras cuencas o desde otras cuencas	5	5	5
Derivaciones para usos en agricultura y ganadería	3	3	3
Derivaciones para usos en minería	5	5	5
Derivaciones para uso urbano (usos domésticos e industriales)	5	5	5
Tramo (incluye ribera y zona de inundación)			
Canalización del río por infraestructuras rígidas (escolleras, etc.)	5	5	5
Canalización del río por terraplenes	1	1	1
Presencia de cultivos y pasto en la llanura de inundación	1	1	1
Infraestructuras laterales (carreteras, construcciones)	3	3	3
Falta de cubierta de la zona de ribera (árboles o arbustos)	1	1	1
%Cubierta vegetal por especies introducidas (árboles o arbustos)	3	3	3
Lecho			
Sustrato del lecho totalmente artificial (cemento, escollera, etc.)	5	5	5
Infraestructuras transversales (azudes, vados, etc.)	5	5	5
Presencia de efluentes directos al río	5	5	5
Contaminación orgánica evidente	5	5	5
Contaminación minera evidente	5	5	5
Presencia de basuras y escombros (sea en la ribera o en el mismo lecho)	3	3	3
TOTAL	85	81	83

Fuente: Acosta, 2009.

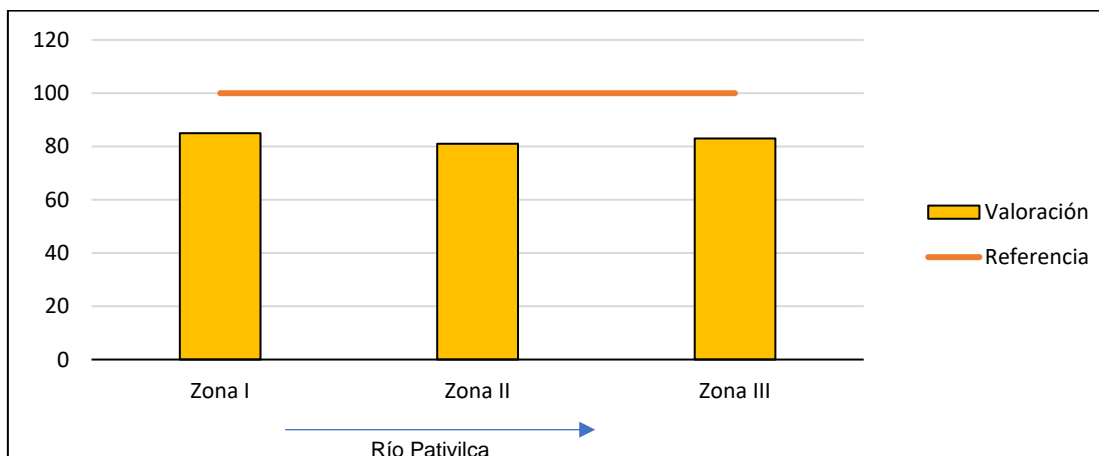


Figura 7.18. Gráfico de barras para los puntajes en la valoración de estaciones de referencias del CERA (Acosta, 2009)

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 Bacillaroophyta. El Phylum Cyanobacteria fue el siguiente en ser representativo, con excepción de la zona I para los meses de junio, julio y setiembre; donde la cantidad de cyanobacterias fue similar a la cantidad de chlorofitas. El Phylum Charophyta fue el menos representativo en la zona



I y III del mes de junio; y Zona II de setiembre. En la zona I de julio, Charophyta tuvo mayor representación que Cyanobacteria y Chlorophyta (Tabla 7.11 y Figura 7.12). La Tabla 7.11 muestra la cantidad de especies por zona.

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

PHYLLUM	Junio 2019			Julio 2019			Setiembre 2019		
	Zona I	Zona II	Zona III	Zona I	Zona II	Zona III	Zona I	Zona II	Zona III
Bacillarophyta	39	45	43	38	47	38	40	49	41
Cyanobacteria	2	5	7	1	8	3	2	5	1
Chlorophyta	2	1	2	1	2	1	2	4	1
Charophyta	1	1	1	2	2	1	0	3	1

Fuente: Anexo 10, informes de identificación taxonómica.

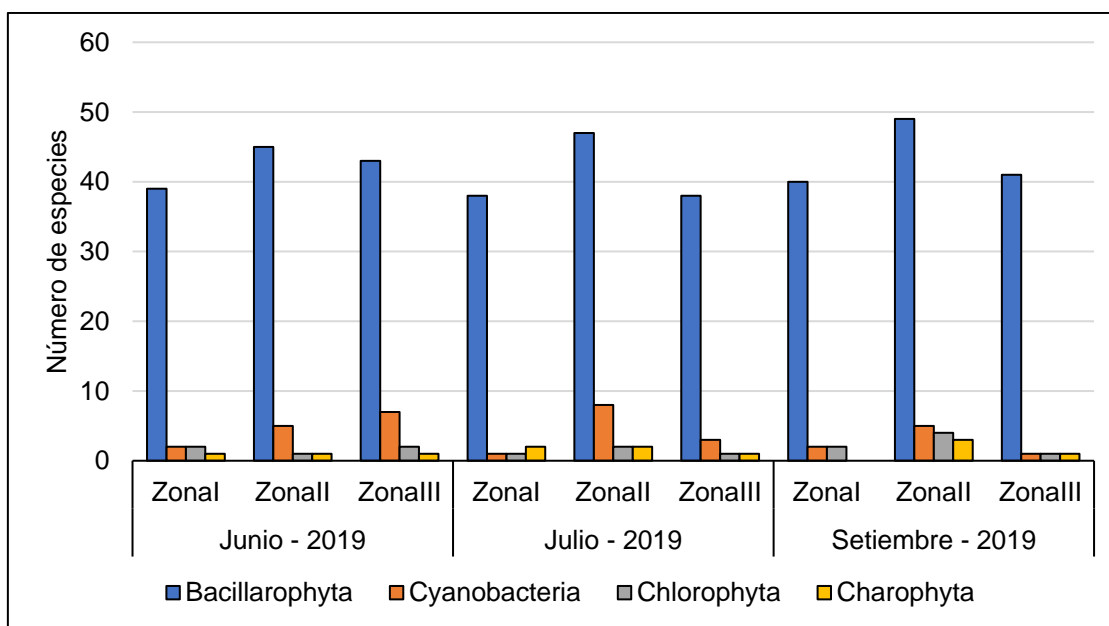


Figura 7.19. Composición porcentual de especies de perifiton por zonas y temporadas evaluados en el río Pativilca

7.3.2.1 Diversidad alfa

A. Curva de acumulación de especies

La estimación de la riqueza específica se realizó por la interpolación de las curvas de acumulación de riqueza a un tamaño de muestra de 5 (tamaño de muestra más pequeño, encontrado en la zona I). La Tabla 7.12 muestra los valores de la riqueza promedio y desviación estándar de las interacciones a una determinada cantidad de muestras, realizado por cada zona y temporada.

Para el mes de junio 2019 (Figura 7.20), la zona III tuvo una riqueza específica estimada de 50,59, seguido por la zona I con 44 y la zona II con 43,85. Para el mes de julio 2019 (Figura 7.21), la zona II tuvo una riqueza específica estimada de 49,37, seguido por la zona I con 42 y finalmente, la zona III con 41,10. Finalmente, para el mes de setiembre



2019 (Figura 7.22), la zona II tuvo la más alta riqueza específica estimada (48,7), seguido por la zona I con un valor de 44 y finalmente la zona III con un valor de 42,02.

Tabla 7.12. Valores de riqueza promedio y desviación estándar de las interacciones a una determinada cantidad de muestras

Temporada	Zona	Muestras	Riqueza promedio	Desviación estándar
Junio	Zona I	1	21,16	0,99
		2	29,73	0,45
		3	35,05	0,94
		4	39,62	0,80
		5	44,00	0,00
	Zona II	1	22,03	4,05
		2	31,88	3,26
		3	37,08	3,16
		4	40,57	3,36
		5	43,85	3,08
		6	46,25	2,65
		7	48,61	2,23
		8	50,19	1,80
		9	52,00	0,00
	Zona III	1	29,66	4,52
		2	38,33	3,04
		3	43,57	2,34
		4	47,55	1,65
5		50,59	1,02	
6		53,00	0,00	
Julio	Zona I	1	16,59	1,88
		2	25,97	2,02
		3	32,63	1,86
		4	37,81	1,48
		5	42,00	0,00
	Zona II	1	22,21	3,42
		2	33,15	3,48
		3	40,13	3,45
		4	45,29	2,76
		5	49,37	2,03
		6	52,79	1,44
		7	55,21	1,07
		8	57,23	0,78
		9	59,00	0,00
	Zona III	1	20,91	3,69
		2	29,72	1,85
		3	34,63	1,33
		4	38,31	1,45
5		41,10	1,29	
6		43,00	0,00	
Setiembre	Zona I	1	17,94	6,01
		2	27,16	5,41
		3	33,95	4,14
		4	39,35	2,83
		5	44,00	0,00
	Zona II	1	21,05	3,90
		2	31,58	4,18
		3	39,09	4,34
		4	44,24	3,86
		5	48,70	3,01
		6	52,15	2,62
		7	55,67	2,20
		8	58,23	1,43
		9	61,00	0,00
	Zona III	1	20,42	1,98
		2	29,22	1,61
		3	34,80	1,56
		4	39,04	1,31
5		42,02	1,19	
6		44,00	0,00	

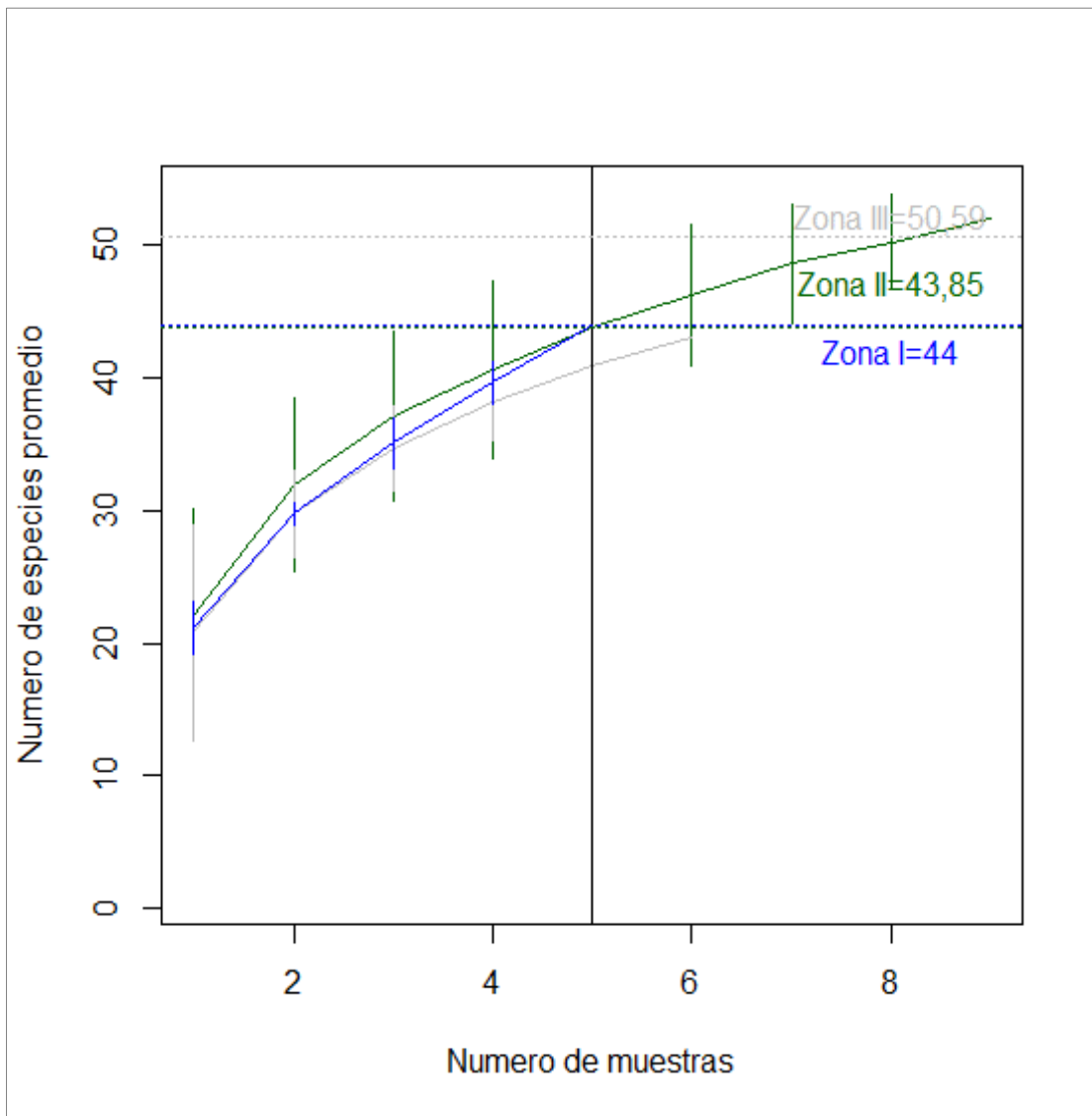


Figura 7.20. Curva de acumulación de especies para perifiton – junio 2019

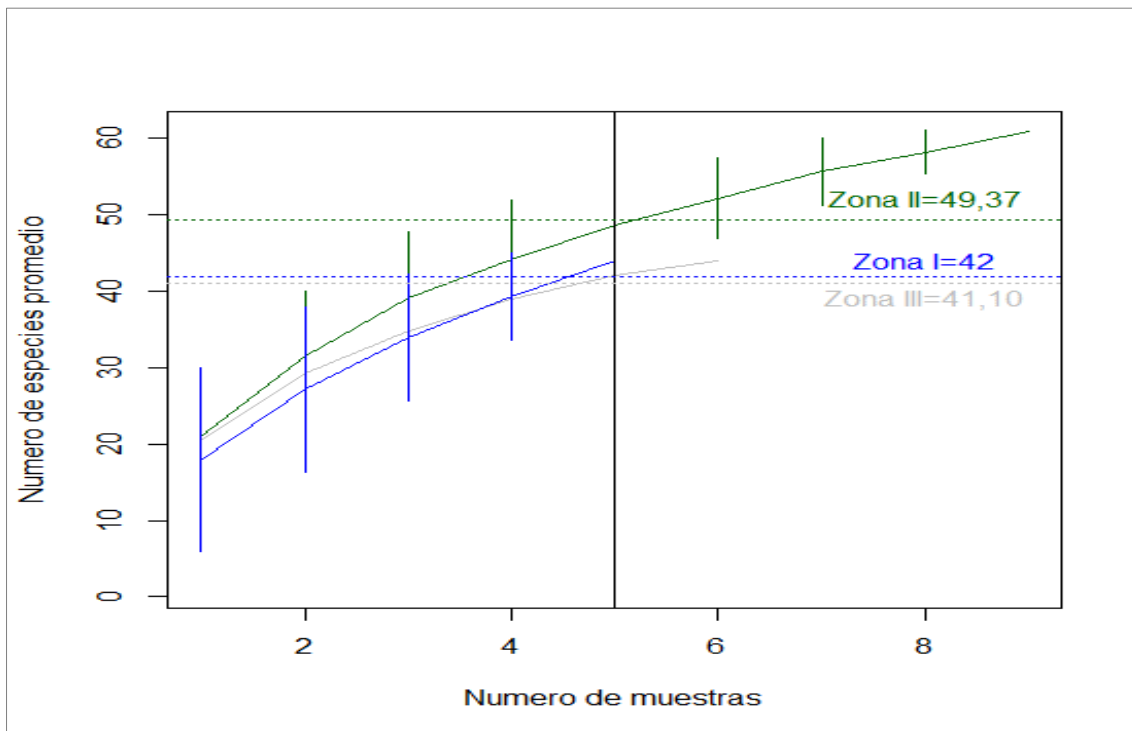


Figura 7.21. Curva de acumulación de especies para perifiton – julio 2019

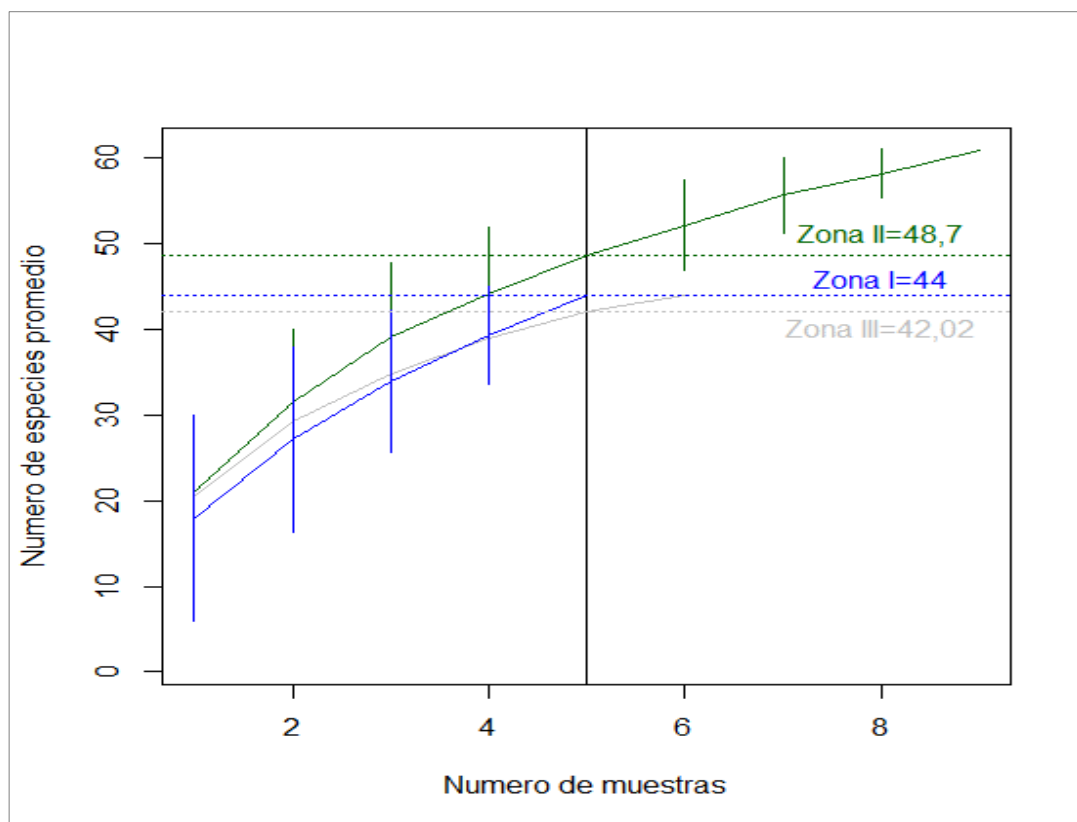


Figura 7.22. Curva de acumulación de especies para perifiton – setiembre 2019



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 2019, la zona II presentó una mediana y media de H' similar a la zona I e inferior a la zona III. El gráfico de cajas por zonas para el mes de junio 2019 se encuentra en la Figura 7.23.

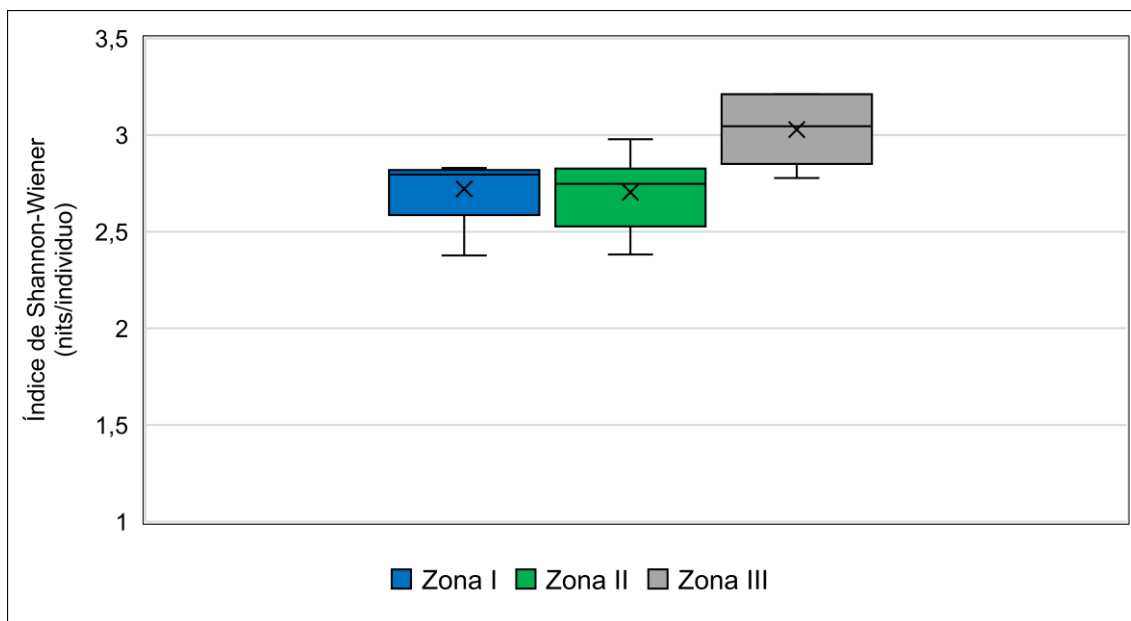


Figura 7.23. Gráfico de cajas del índice de Shannon - Wiener (H') para la comunidad de perifiton – junio 2019

En julio de 2019, la media y mediana de la zona II fue superior a las zonas I y III. Por otro lado, la media y mediana de la zona III fue ligeramente superior a la zona I. El gráfico de cajas por zonas para el mes de julio de 2019 se encuentra en la Figura 7.24.

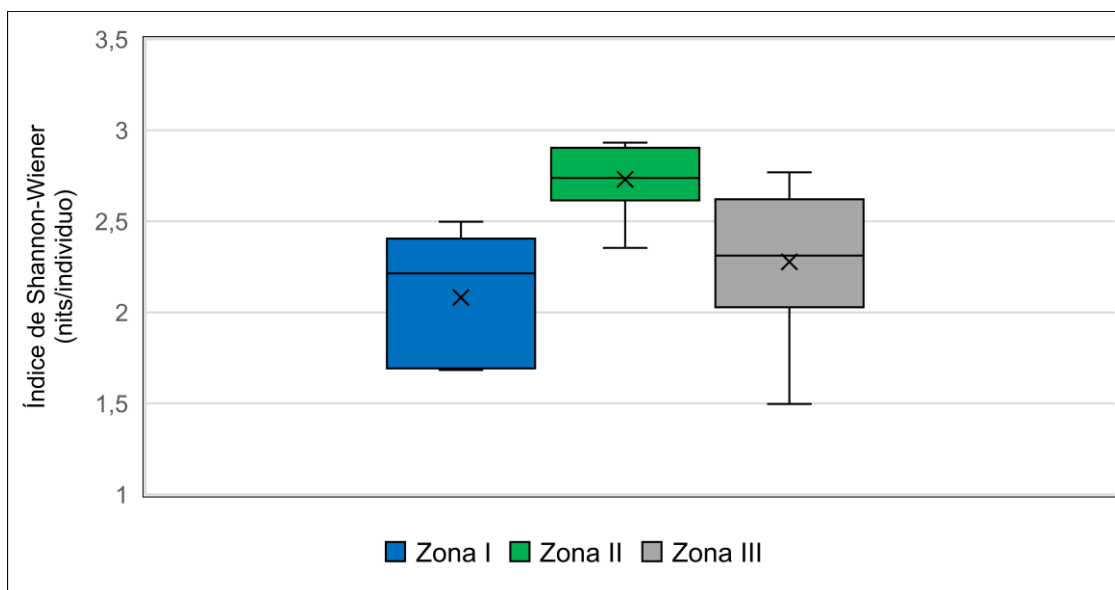


Figura 7.24. Gráfico de cajas del índice de Shannon - Wiener (H') para la comunidad de perifiton – julio 2019



En el mes de setiembre, la media y mediana de las tres zonas (I, II y III) fueron muy similares (Figura 7.25), mostrando un comportamiento de diversidad semejantes entre cada una de ellas.

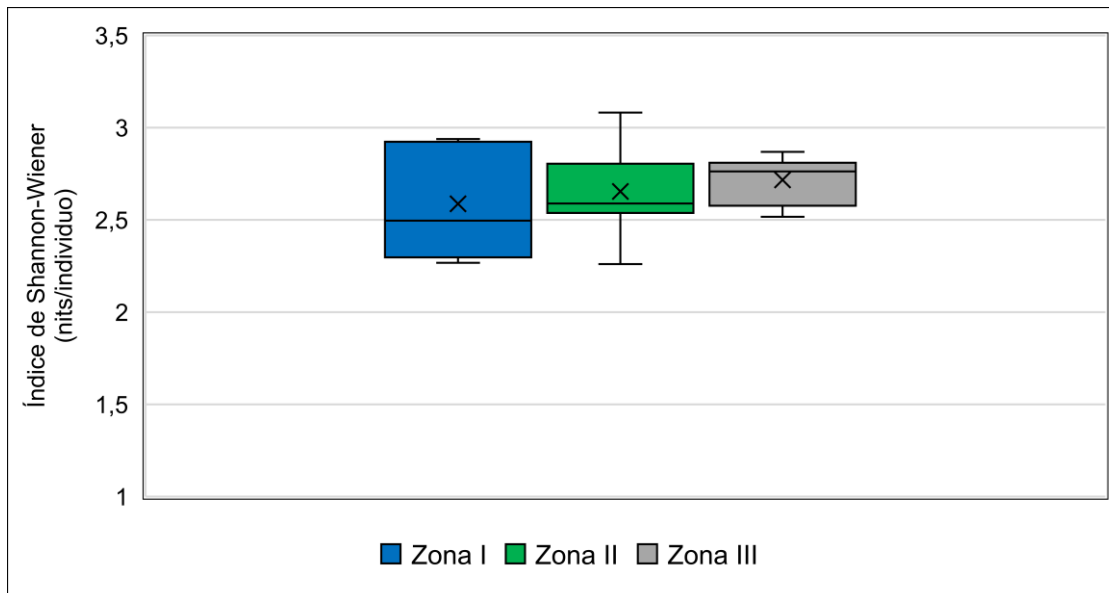


Figura 7.25. Gráfico de cajas del índice de Shannon - Wiener (H') para la comunidad de perifiton – setiembre 2019

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

Zonas	Puntos de muestreo	Junio 2019	Julio 2019	Setiembre 2019
Zona I	RPat-32	2,83	1,683	2,267
	RPat-33	2,796	2,498	2,938
	RPat-34	2,809	2,214	2,909
	RPat-5	2,796	2,312	2,496
	RPat-35	2,377	1,701	2,327
	Media	2,722	2,082	2,587
	Mediana	2,796	2,214	2,496
Zona II	RPat-27	2,382	2,887	2,531
	RPat-36	2,743	2,354	3,082
	RPat-37	2,978	2,645	2,896
	RPat-28	2,52	2,932	2,545
	RPat-38	2,535	2,672	2,26
	RPat-39	2,748	2,843	2,589
	RPat-6	2,774	2,738	2,582
	RPat-40	2,799	2,585	2,688
	RPat-41	2,854	2,92	2,712
	Mediana	2,704	2,731	2,654
Mediana	2,748	2,738	2,589	
Zona III	RPat-42	3,035	2,335	2,517
	RPat-29	2,875	2,205	2,79
	RPat-43	3,211	2,288	2,597
	RPat-44	3,212	2,769	2,869
	RPat-30	2,778	1,496	2,761
	RPat-45	3,055	2,572	2,765
	Media	3,028	2,278	2,717
	Mediana	3,045	2,312	2,763



b. Equidad de Pielou (J')

La Tabla 7.14 muestra los registros de Equidad de Pielou de cada punto de muestreo, ordenado por zonas y temporadas. Para el mes de junio 2019, la media y mediana de la Equidad de Pielou fue similar entre las tres zonas, sin embargo, la zona I tuvo un rango más amplio comprendido entre 0,769 y 0,938. El gráfico de cajas para J' se encuentra en la Figura 7.26.

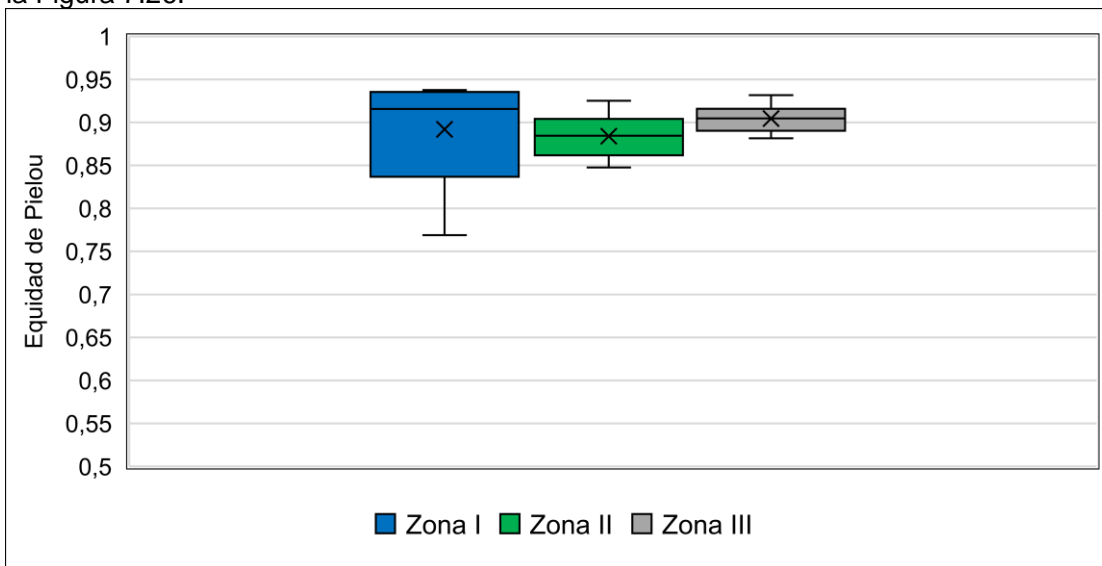


Figura 7.26. Gráfico de cajas de la Equidad de Pielou (J') para la comunidad de perifiton – junio de 2019

En julio de 2019, la media y mediana de la Equidad de Pielou de la zona II fue mayor a las zonas I y III. Por otro lado, la media y mediana de las zonas I y III fueron similares entre ellas. El gráfico de cajas para la Equidad de Pielou del mes de julio se encuentra en la Figura 7.27.

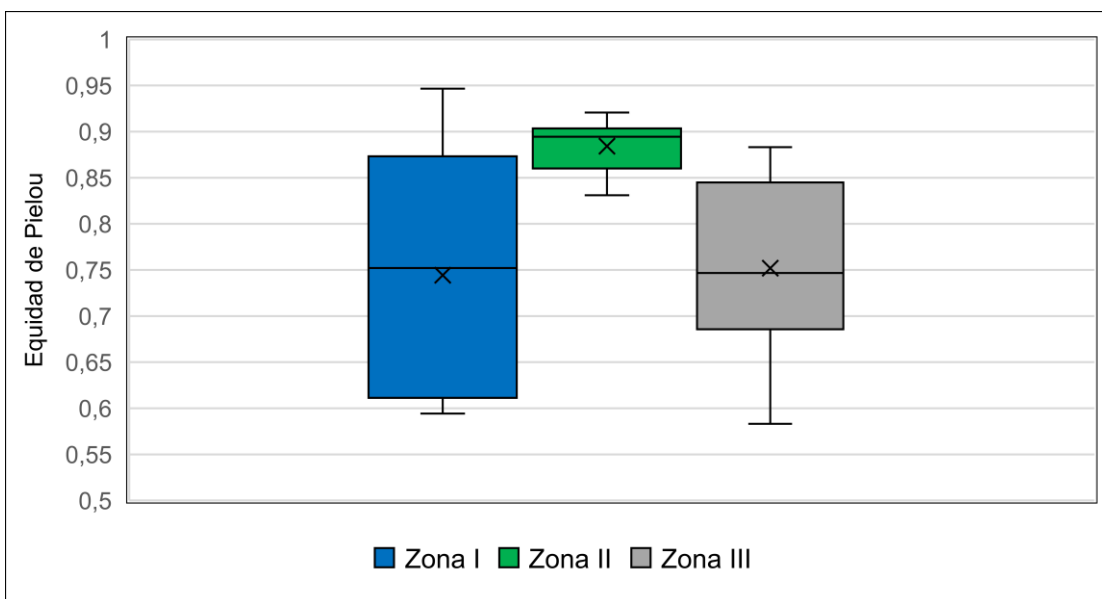


Figura 7.27. Gráfico de cajas de la Equidad de Pielou (J') para la comunidad de perifiton – julio 2019

En setiembre 2019, la zona II presento una media (0,875) y mediana (0,883) de Equidad de Pielou inferior a las zonas I y III, asimismo el registro más bajo de Equidad de Pielou



fue encontrado en la zona II (RPat-42=0,855). El gráfico de cajas de la Equidad de Pielou para el mes de setiembre se encuentra en la Figura 7.28.

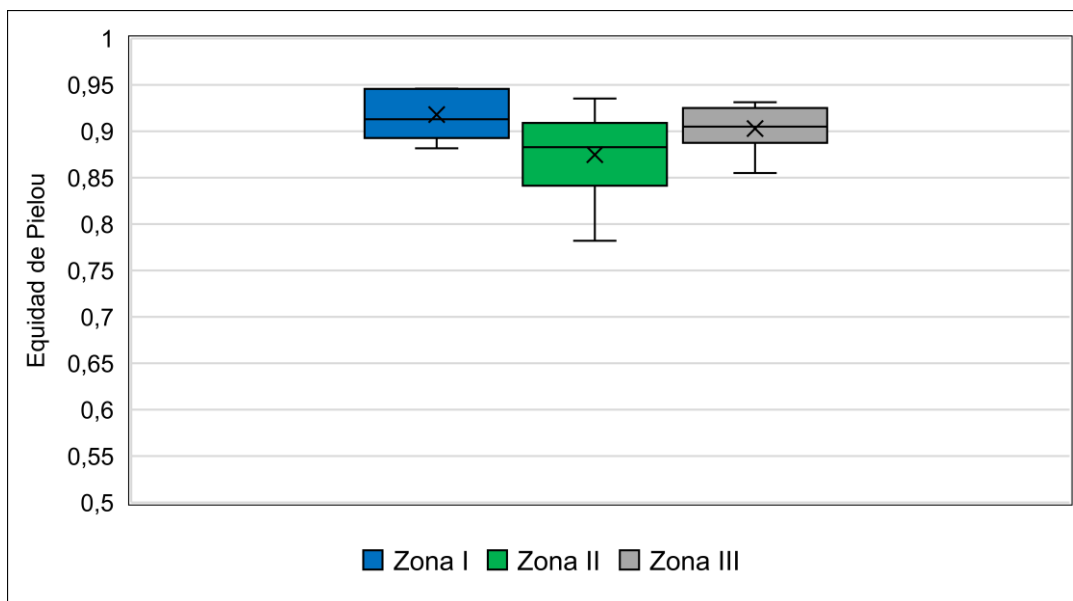


Figura 7.28. Gráfico de cajas de la Equidad de Pielou (J') para la comunidad de perifiton - setiembre 2019

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-32	0,916	0,594	0,946
	RPat-33	0,904	0,947	0,913
	RPat -34	0,938	0,752	0,904
	RPat-5	0,933	0,800	0,946
	RPat-35	0,769	0,628	0,882
	Media	0,892	0,744	0,918
	Mediana	0,916	0,752	0,913
Zona II	RPat-27	0,859	0,921	0,860
	RPat-36	0,916	0,831	0,935
	RPat-37	0,925	0,844	0,900
	RPat-28	0,889	0,890	0,918
	RPat-38	0,877	0,908	0,782
	RPat-39	0,865	0,895	0,879
	RPat-6	0,885	0,899	0,893
	RPat-40	0,893	0,894	0,883
	RPat-41	0,848	0,876	0,823
	Media	0,884	0,884	0,875
Mediana	0,885	0,894	0,883	
Zona III	RPat-42	0,932	0,745	0,855
	RPat-29	0,893	0,749	0,931
	RPat-43	0,911	0,720	0,898
	RPat-44	0,911	0,883	0,903
	RPat-30	0,899	0,583	0,907
	RPat-45	0,882	0,832	0,923
	Media	0,904	0,752	0,903
	Mediana	0,905	0,747	0,905



c. Abundancia (N)

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

En junio 2019 la mayor productividad fue encontrada en la zona III, con una media y mediana del logaritmo natural de la abundancia mayor que las zonas II y I, con un rango de abundancia entre 3754 y 10111 organismos/cm². La zona II mostró una media y mediana ligeramente superior al de la zona I. La Figura 7.29 muestra el gráfico de cajas para el logaritmo natural de la abundancia de las tres zonas durante el mes de junio 2019.

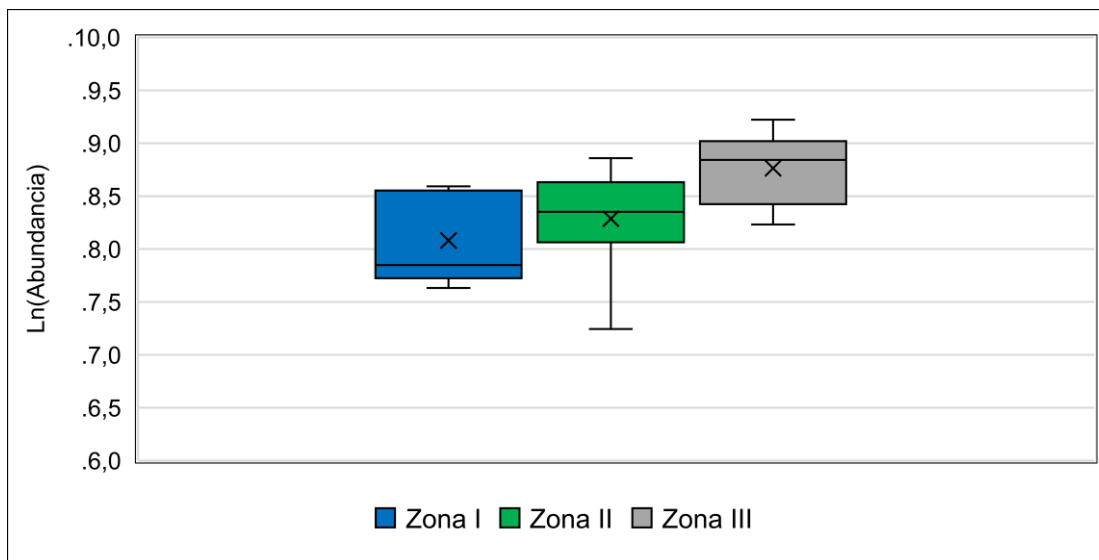


Figura 7.29. Gráfico de cajas del logaritmo natural de la abundancia (Ln(N)) para la comunidad de perifiton – junio 2019

En julio 2019 se encontró un patrón similar a junio 2019. La zona III presentó una mayor productividad en comparación con la zona II, seguido por la zona I. Los registros más bajos de abundancia fueron encontrados en la zona I (RPat-33 = 1101 organismos/cm²). La Figura 7.30 muestra el gráfico de cajas para el logaritmo natural de la abundancia de las tres zonas durante el mes de julio.

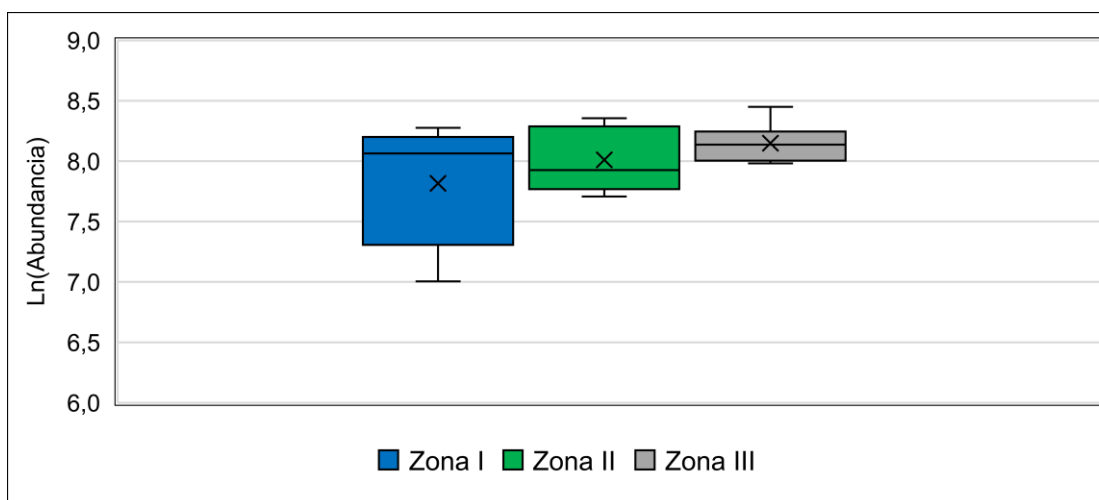


Figura 7.30. Gráfico de cajas del logaritmo natural de la abundancia (Ln(N)) para la comunidad de perifiton – julio 2019



En setiembre de 2019, el escenario fue diferente a lo registrado en junio y julio. Para este mes, la productividad fue mucho mayor en la zona II con una media y mediana superior a las zonas I y III. El rango de abundancia para la zona II fue entre 2774 y 6627 organismos/cm², mientras que la zona III presentó un rango menor entre 1867 y 2800 organismos/cm² finalmente la zona I registró los valores más bajos con un rango entre 799 (RPat-32) y 2867 organismos/cm².

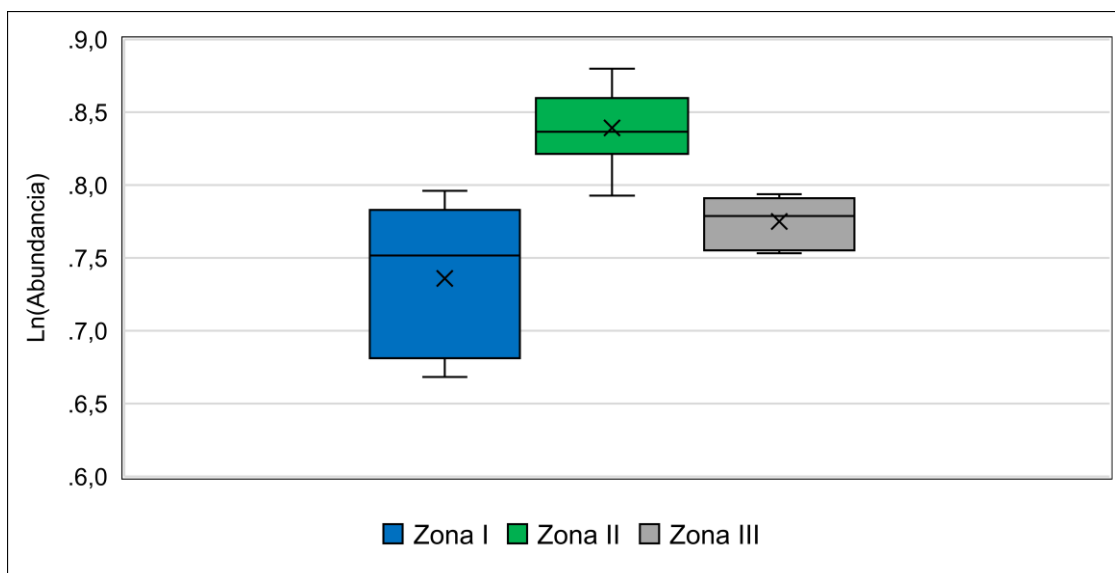


Figura 7.31. Gráfico de cajas del logaritmo natural de la abundancia (Ln(N)) para la comunidad de perifiton - setiembre 2019

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

Zonas	Puntos de muestreo	Junio 2019		Julio 2019		Setiembre 2019	
		Abundancia	Logaritmo natural	Abundancia	Logaritmo natural	Abundancia	Logaritmo natural
Zona I	RPat-32	2060	7,630	3178	8,064	799	6,683
	RPat-33	2483	7,817	1101	7,004	2867	7,961
	RPat-34	2560	7,848	3373	8,124	2203	7,698
	RPat-5	5389	8,592	2019	7,610	1033	6,940
	RPat-35	4976	8,512	3927	8,276	1838	7,516
	Media	3494	8,080	2720	7,816	1748	7,360
	Mediana	2560	7,848	3178	8,064	1838	7,516
Zona II	RPat-27	2968	7,996	2225	7,708	5806	8,667
	RPat-36	3399	8,131	2458	7,807	3324	8,109
	RPat-37	5536	8,619	2273	7,729	4799	8,476
	RPat-28	1398	7,243	3965	8,285	4300	8,366
	RPat-38	4118	8,323	3364	8,121	2774	7,928
	RPat-39	7029	8,858	2769	7,926	6627	8,799
	RPat-6	4233	8,351	2620	7,871	5053	8,528
	RPat-40	4464	8,404	4250	8,355	4200	8,343
	RPat-41	5676	8,644	3980	8,289	4103	8,319
	Media	4313	8,285	3100	8,010	4554	8,393
	Mediana	4233	8,351	2769	7,926	4300	8,366



Zonas	Puntos de muestreo	Junio 2019		Julio 2019		Setiembre 2019	
		Abundancia	Logaritmo natural	Abundancia	Logaritmo natural	Abundancia	Logaritmo natural
Zona III	RPat-42	3754	8,231	3489	8,157	2236	7,712
	RPat-29	4860	8,489	3562	8,178	1867	7,532
	RPat-43	7331	8,900	4670	8,449	1917	7,559
	RPat-44	10111	9,221	3017	8,012	2600	7,863
	RPat-30	6533	8,785	2926	7,981	2699	7,901
	RPat-45	7719	8,951	3345	8,115	2800	7,937
	Media	6718	8,763	3502	8,149	2353	7,751
	Mediana	6932	8,842	3417	8,136	2418	7,788

7.3.2.2 Análisis de correspondencia canónicas

Los valores de las variables usadas en el análisis de correspondencias canónicas para las variables fisicoquímicas y la comunidad de perifiton se encuentran en el Anexo 11.

En el análisis de correspondencias canónicas el pH, los cloruros y los fluoruros fueron las variables con mayores puntajes en el eje 1 con valores de 0,565, 0,588 y 0,526 respectivamente. En el eje 2, las variables con mayor puntaje fueron conductividad eléctrica (0,748) y oxígeno disuelto (0,691). Los nitratos y el fósforo (variables determinantes en el desarrollo de las comunidades de algas) no tuvieron mucho puntaje en la explicación de los dos primeros ejes del análisis de correspondencias canónicas. Los puntajes de estas variables se muestran como vectores con mayor magnitud en las Figura 7.35 y 7.36. Los puntajes de las variables fisicoquímicas usadas se encuentran en la Tabla 7.16. y los puntajes de las especies de perifiton usadas se encuentran en la Tabla 7.17.

Tabla 7.16. Variables fisicoquímicas con su respectiva abreviatura y puntajes en los ejes 1 y 2 del análisis de correspondencias canónicas

Variable fisicoquímica	Abreviatura	Eje 1	Eje 2
Potencial hidrógeno	pH	0,565	0,403
Conductividad eléctrica	CE	0,341	0,748
Oxígeno disuelto	OD	0,277	0,691
Temperatura	T	-0,044	-0,368
Bicarbonato	Bi	0,101	0,312
Demanda química de oxígeno	DQO	0,114	0,204
Sólidos totales disueltos	STD	0,059	0,451
Sólidos totales en sus pensión	STS	-0,152	-0,264
Cloruros	Cl	0,588	-0,196
Fluoruros	F	0,526	-0,051
Nitratos	NO3	0,259	-0,175
Sulfatos	SO4	0,240	-0,326
Fósforo total	PT	0,087	-0,324
Fósforo	P	-0,393	-0,014

 Puntaje mayor a 5

**Tabla 7.17.** Variables fisicoquímicas con su respectiva abreviatura y puntajes en los ejes 1 y 2 del análisis de correspondencias canónicas

Especie	Abreviatura	Eje 1	Eje 2	Especie	Abreviatura	Eje 1	Eje 2
<i>Achnanthydium cf. atomus</i>	B1	-1,081	-0,519	<i>Gomphosphenia sp.</i>	B42	-1,225	0,010
<i>Achnanthydium cf. gracillimum</i>	B2	1,501	-0,565	<i>Nupela lapidosa</i>	B46	0,291	0,515
<i>Achnanthydium minutissimum</i>	B3	-0,361	0,261	<i>Luticola sp. 2</i>	B49	-0,627	-0,082
<i>Achnanthydium cf. exigua</i>	B4	-1,081	-0,519	<i>Gyrosigma sp. 2</i>	B51	-0,556	0,333
<i>Achnanthydium cf. exilis</i>	B5	-0,293	-0,491	<i>Navicula cf. capitatoradiata</i>	B52	-0,280	0,054
<i>Achnanthydium sp. 1</i>	B6	-0,664	-0,054	<i>Navicula lanceolata</i>	B53	-0,740	0,023
<i>Achnanthydium sp. 2</i>	B7	-0,679	0,714	<i>Navicula symmetrica</i>	B54	-0,086	-0,451
<i>Planothidium frequentissimum</i>	B9	1,472	-1,414	<i>Navicula cf. rostellata</i>	B58	0,344	0,256
<i>Planothidium sp. 1</i>	B10	-0,208	-1,172	<i>Navicula cf. angusta</i>	B59	-0,208	-1,172
<i>Cocconeis placentula</i>	B11	0,441	-0,134	<i>Navicula veneta</i>	B60	-0,684	-0,345
<i>Hantzschia amphioxys</i>	B12	-0,086	-0,451	<i>Navicula radiosa</i>	B61	1,050	-0,932
<i>Nitzschia gracilis</i>	B13	1,292	-0,667	<i>Navicula sp. 1</i>	B62	-1,225	0,010
<i>Nitzschia recta</i>	B14	0,564	1,874	<i>Craticula cf. molestiformis</i>	B63	-1,214	-0,914
<i>Nitzschia palea</i>	B15	0,150	0,367	<i>Sellaphora sp. 1</i>	B65	-1,225	0,010
<i>Nitzschia commutata</i>	B17	-0,111	0,268	<i>Surirella minutum</i>	B67	0,102	0,012
<i>Nitzschia dissipata</i>	B18	-0,392	-0,592	<i>Fragilaria capuccina</i>	B69	0,577	0,279
<i>Nitzschia cf. suchlandtii</i>	B19	-0,863	-0,369	<i>Fragilaria capuccina var. gracilis</i>	B70	0,693	1,969
<i>Nitzschia clausii</i>	B21	-0,659	-0,207	<i>Synedra sp. 1</i>	B75	0,256	0,357
<i>Cymbella tumida</i>	B24	-0,307	-0,088	<i>Hannaea arcus</i>	B76	-0,276	-0,130
<i>Cymbella cystula</i>	B25	-0,086	-0,451	<i>Ulnaria ulna</i>	B77	-0,147	0,058
<i>Cymbella sp. 1</i>	B26	-1,264	-1,009	<i>Diatoma tenue</i>	B79	-0,490	-0,127
<i>Encyonema silesiacum</i>	B27	-0,231	0,034	<i>Diatoma vulgare</i>	B80	0,386	1,172
<i>Encyonema minutiforme</i>	B28	0,397	-0,003	<i>Melosira sp.</i>	B82	-1,081	-0,519
<i>Encyonema minutum</i>	B29	-0,801	-0,329	<i>Heteroleibleinia cf. ucrainica</i>	CB1	0,623	0,386
<i>Encyonema cf. vulgare</i>	B30	0,067	0,131	<i>Heteroleibleinia sp.</i>	CB2	2,186	-1,413
<i>Encyonopsis cf. subminuta</i>	B32	0,034	-0,031	<i>Kamptonema animale</i>	CB5	0,397	-0,003
<i>Gomphonema lagenula</i>	B33	-0,518	-0,968	<i>Kamptonema formosum</i>	CB6	0,397	-0,003
<i>Gomphonema parvulum</i>	B34	-0,440	-0,405	<i>Microcoleus autumnalis</i>	CB7	0,123	-0,169
<i>Gomphonema subclavatum</i>	B35	0,945	-0,853	<i>Leptolyngbya sp. 1</i>	CB9	0,397	-0,003
<i>Gomphonema minutum</i>	B36	-0,608	-0,317	<i>Mantellum sp.</i>	CB10	2,186	-1,413
<i>Gomphonema cf. auritum</i>	B37	-1,081	-0,519	<i>Pseudanabaena catenata</i>	CB12	0,397	-0,003
<i>Gomphonema pumilum</i>	B38	0,568	-0,717	<i>Cladophora glomerata</i>	CP4	0,609	0,518
<i>Gomphonema aff. tenuissimum</i>	B39	0,633	-0,202	<i>Cosmarium botrytis</i>	CHP1	0,643	0,360
<i>Gomphonema sp. 2</i>	B40	0,535	1,713	<i>Cosmarium wembaerense</i>	CHP2	-1,026	-0,240
<i>Reimeria sinuata</i>	B41	-0,432	0,380				

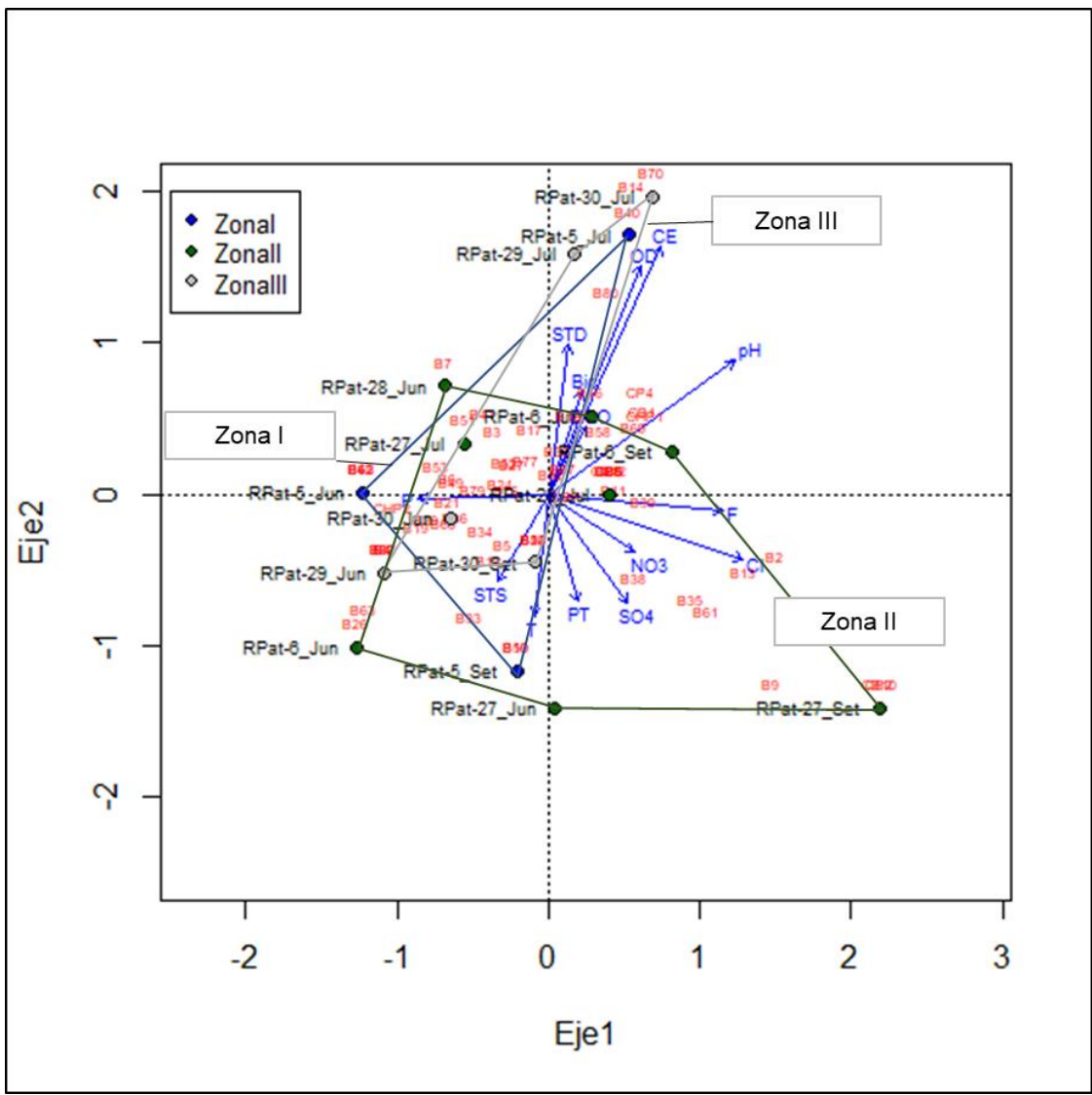


Figura 7.32. CCA para los parámetros de calidad de agua y la comunidad de perifiton - zonas

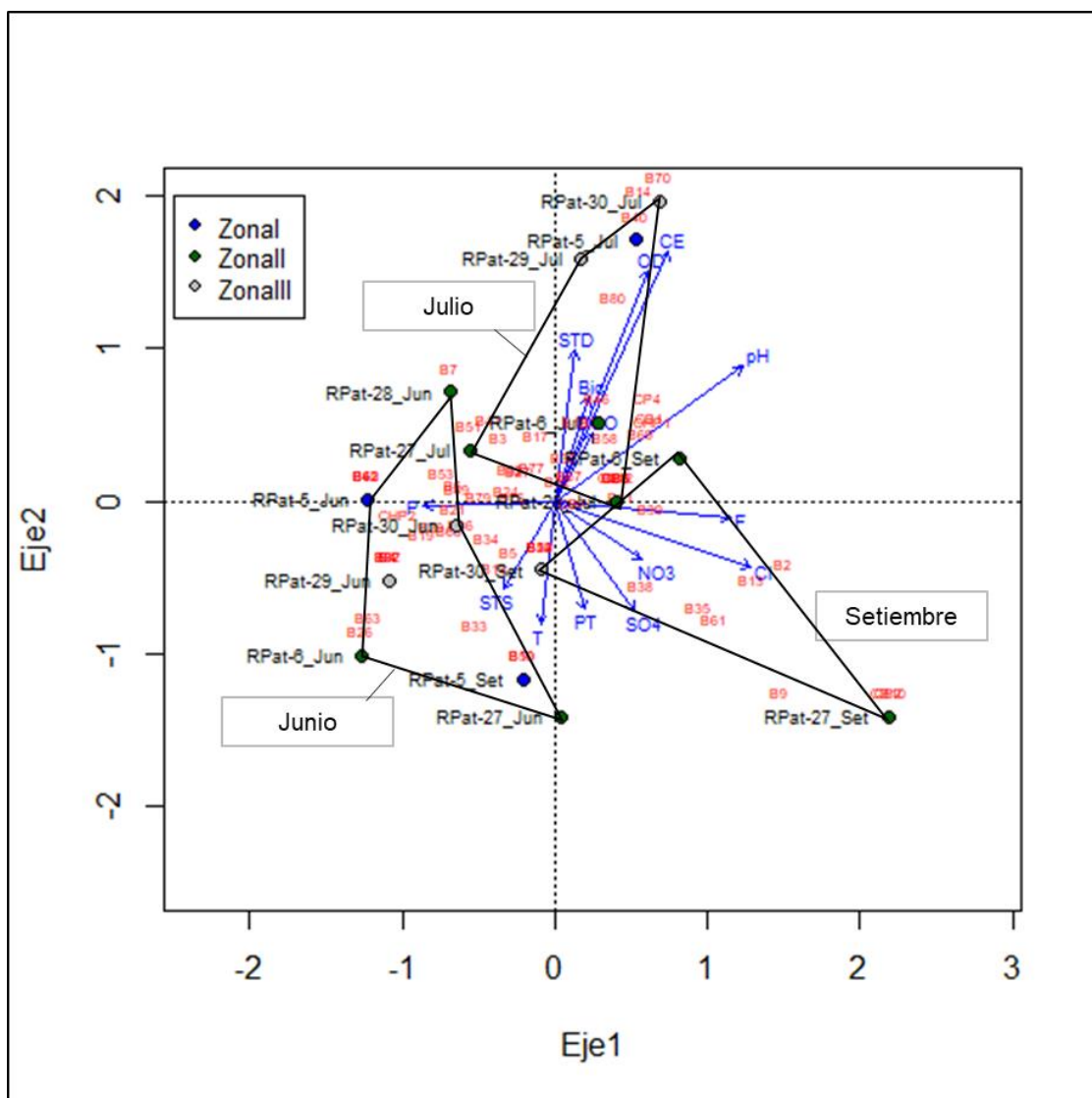


Figura 7.33.CCA para los parámetros de calidad de agua y la comunidad de perifiton – temporadas

El análisis de correspondencias canónicas no mostró una diferencia espacial entre las tres zonas evaluadas (I, II y III), existiendo similitud entre varias de las estaciones ubicadas en esas zonas a nivel fisicoquímico y en la comunidad de perifiton (Figura 7.32). Por otro lado, las diferencias se mostraron a una escala temporal (Figura 7.33), mostrando una clara separación de los grupos en el análisis de correspondencias canónicas.

Los valores de las variables usadas en el análisis de correspondencias canónicas para los metales en sedimentos y la comunidad de perifiton se encuentran el Anexo 11.

En el análisis de correspondencias canónicas entre los metales en sedimentos y la comunidad de perifiton, el arsénico mostró un mayor puntaje en el eje 1 (-0,512), mientras que vanadio y titanio mostraron un puntaje mayor en el eje 2 con -0,328 y -0,333 respectivamente. Se puede observar la correlación entre varias de estas variables debido a la cercanía de sus vectores (aluminio, cobalto, cromo, hierro, potasio, magnesio, níquel y zinc) Los puntajes para los metales en sedimentos se encuentran en la Tabla 7.18 y los puntajes para las especies de perifiton usadas en el análisis de correspondencias



canónicas se encuentran en la Tabla 7.19. En términos espaciales, el análisis de correspondencias canónicas no mostró diferencias (Figura 7.34) reflejado en la superposición de los grupos de las zonas I, II y III. En términos temporales, se mostró diferencias entre los meses junio y julio (Figura 7.35), el mes de setiembre compartió similaridad con el mes de julio, no mostrando una separación muy marcada de este.

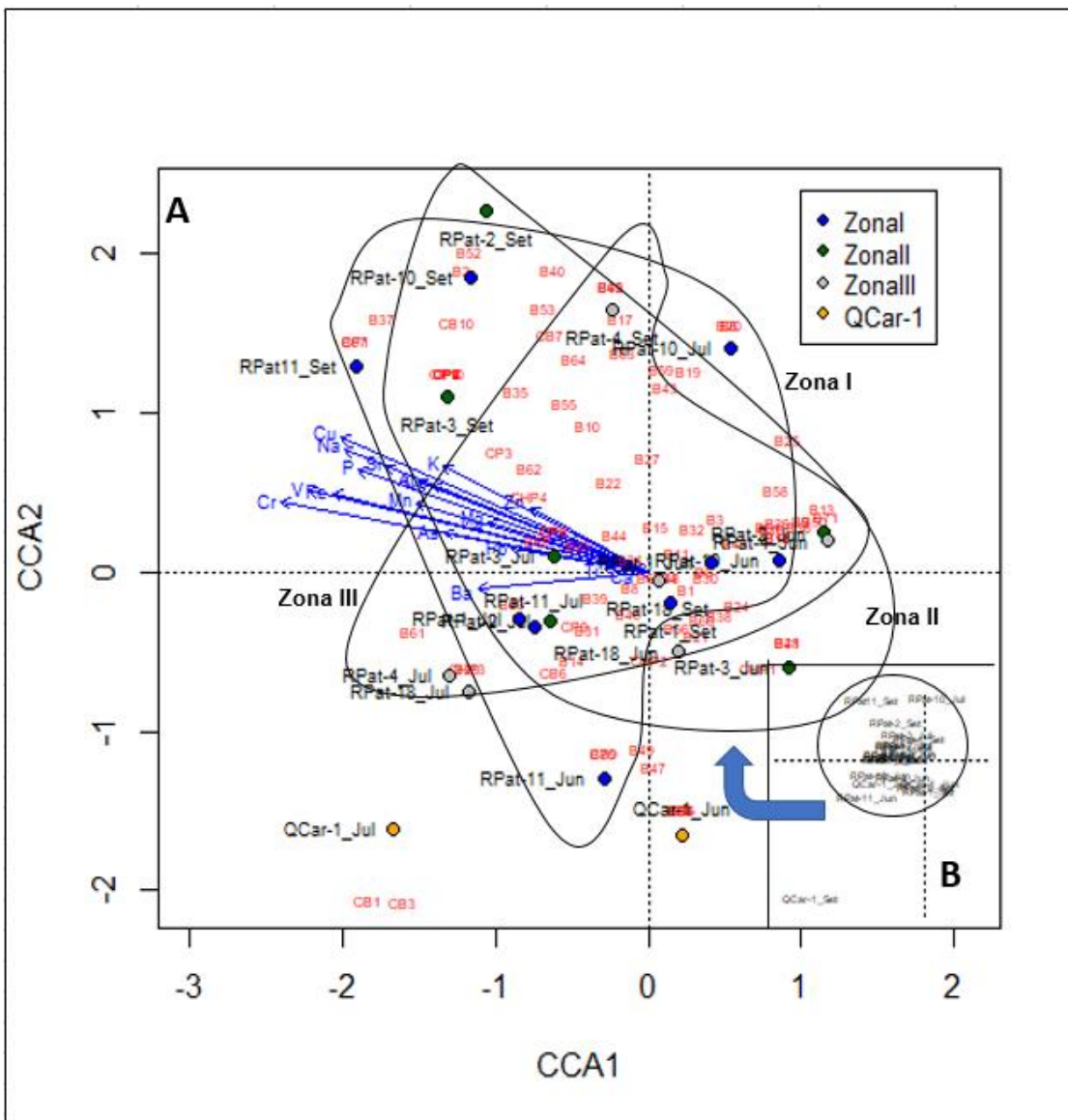


Figura 7.34. CCA para los parámetros de sedimentos y la comunidad de perifiton - zonas

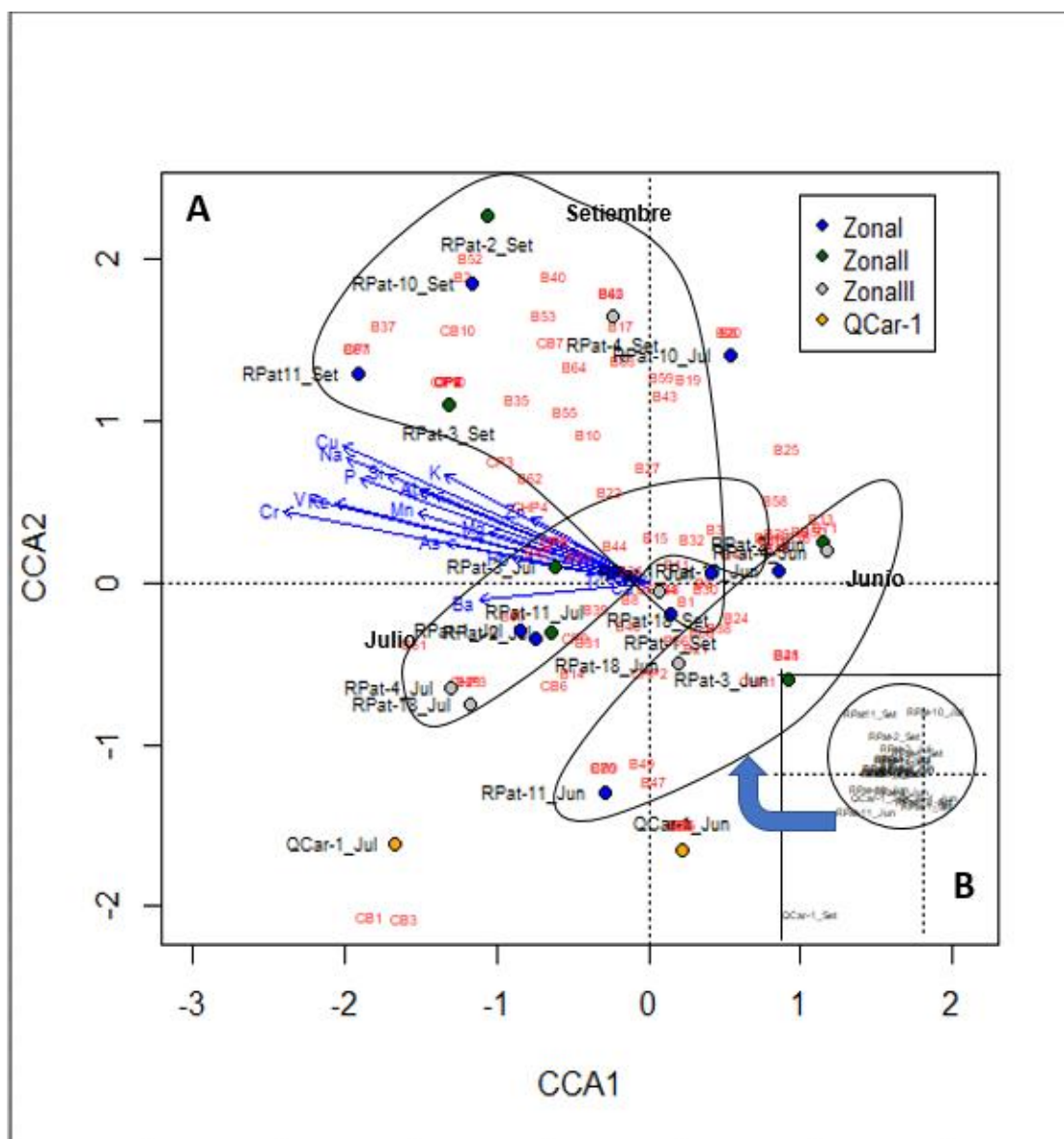


Figura 7.35. CCA para los parámetros de sedimentos y la comunidad de perifiton - temporadas

7.3.3 Macroinvertebrados bentónicos

Se calculó la composición porcentual de las especies de insecta y grupos taxonómicos que no fueron insectos (No-Insecta) por cada zona y temporada de evaluación (Tabla 7.18 y Figura 7.36). La composición fue dominada por especies de Diptera, seguida por especies de Ephemeroptera, Trichoptera y Coleoptera. A nivel temporal, se observó la ausencia de Plecoptera, Lepidoptera, Hemiptera y Megaloptera para las zonas I, II y III durante el mes de julio. A nivel espacial, la composición fue diferente durante los meses evaluados, sin embargo, las especies con mayor representación siguieron conformadas por Diptera, Ephemeroptera, Trichoptera y Coleoptera. El orden Odonata fue común en la zona II durante los tres meses, mientras que, la presencia de los grupos taxonómicos que no son Insecta estuvieron presentes en la zona III de junio, zona II y III de julio; y zona I, II y III de setiembre.



Para el mes de junio 2019 (Figura 7.37), la zona II tuvo una riqueza específica estimada de 17,1 seguido por la zona I con 12 especies y finalmente la zona III con 10,8 especies.

Para el mes de julio 2019 (Figura 7.38), la zona II tuvo una riqueza específica estimada de 23,13, seguido por la zona I con 21 especies y finalmente, la zona III con 20,8 especies. Sin embargo, los valores de riqueza específica estimada estuvieron muy cercanos entre ellos.

Para el mes de setiembre 2019 (Figura 7.39), la zona I tuvo la más alta riqueza específica estimada (38 especies), seguido por la zona II con un valor de 35,04 y finalmente la zona III con un valor de 33,22.

Tabla 7.19. Valores de riqueza promedio y desviación estándar de las interacciones a una determinada cantidad de muestras

Temporada	zona	Muestras	Riqueza promedio	Desviación estándar
Junio	Zona I	1	5,31	1,82
		2	8,01	1,38
		3	9,71	1,36
		4	10,97	1,09
		5	12,00	0,00
	Zona II	1	7,06	3,30
		2	11,26	2,88
		3	13,93	2,38
		4	15,75	1,89
		5	17,10	1,62
		6	18,18	1,44
		7	19,16	1,12
		8	20,11	0,75
		9	21,00	0,00
	Zona III	1	4,37	1,80
		2	6,86	1,49
		3	8,31	1,32
		4	9,31	1,17
5		10,18	0,90	
6		11,00	0,00	
Julio	Zona I	1	12,55	3,49
		2	17,01	2,15
		3	19,07	1,39
		4	20,28	0,96
		5	21,00	0,00
	Zona II	1	12,95	3,70
		2	17,81	2,35
		3	20,14	2,38
		4	21,75	2,40
		5	23,13	2,10
		6	24,43	2,01
		7	25,38	1,69
		8	26,34	1,17
		9	27,00	0,00
	Zona III	1	11,11	2,28
		2	14,98	1,38
		3	17,58	1,52
		4	19,39	1,40
5		20,85	1,11	
6		22,00	0,00	
Setiembre	Zona I	1	21,76	3,16
		2	28,76	2,81
		3	32,83	2,45
		4	35,69	1,76
		5	38,00	0,00
	Zona II	1	18,98	3,70



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

Temporada	zona	Muestras	Riqueza promedio	Desviación estándar
		2	25,87	2,76
		3	29,86	2,27
		4	32,60	2,04
		5	35,04	1,76
		6	37,17	1,46
		7	38,95	1,08
		8	40,54	0,83
		9	42,00	0,00
			Zona III	1
2	25,73			1,35
3	28,78			1,49
4	31,18			1,42
5	33,22			1,06
6	35,00			0,00

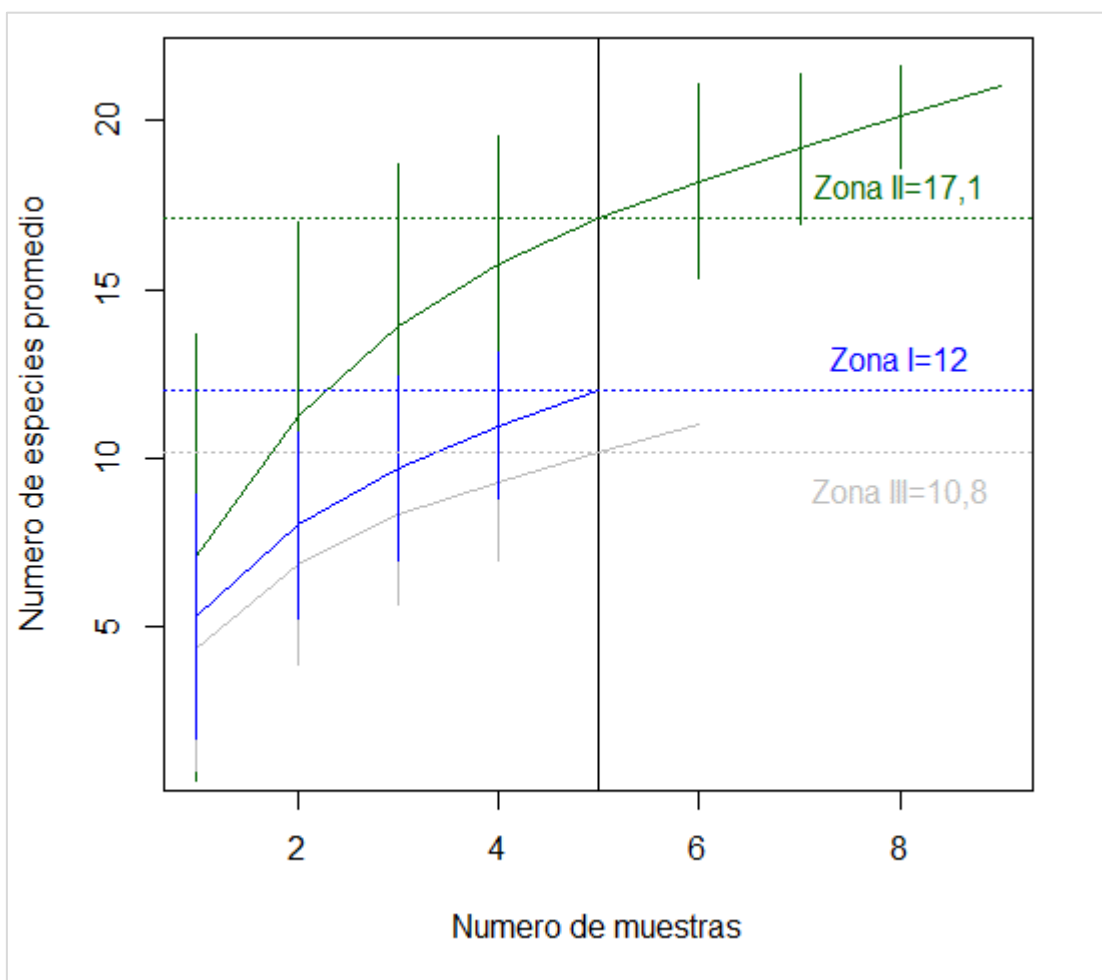


Figura 7.37. Curva de acumulación de especies para macroinvertebrados bentónicos - junio 2019

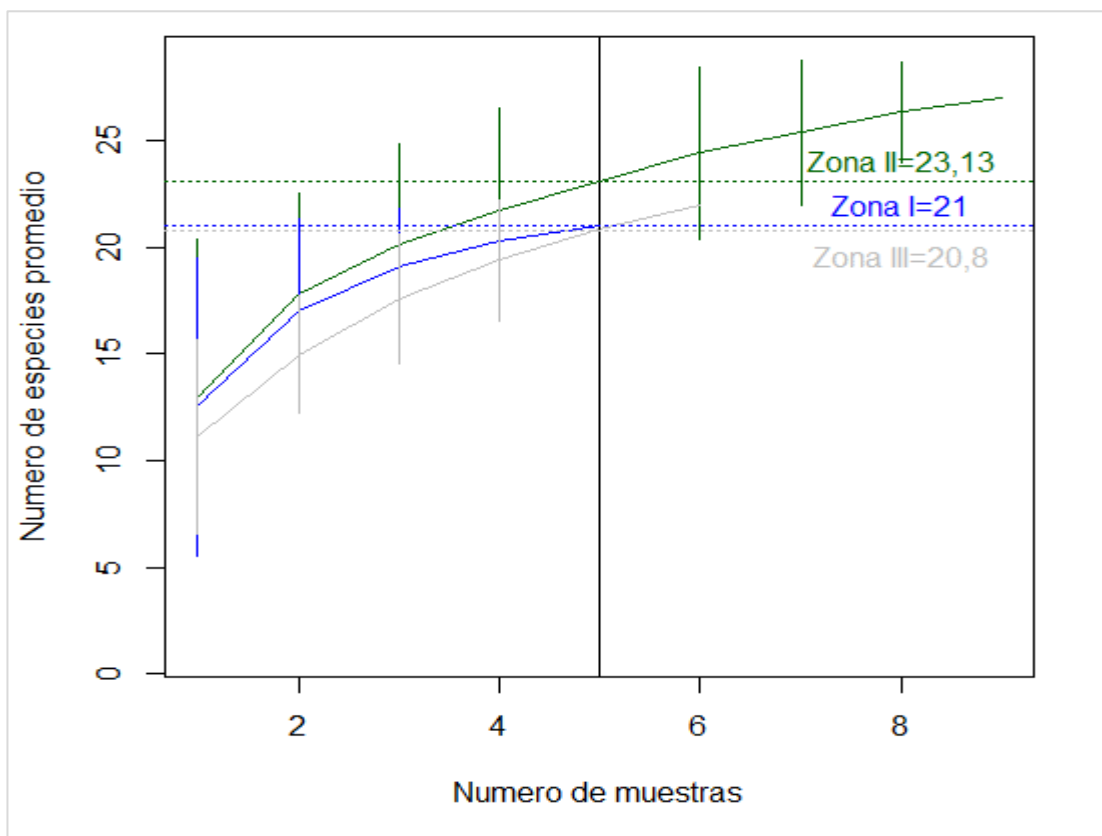


Figura 7.38. Curva de acumulación de especies para macroinvertebrados bentónicos – julio 2019

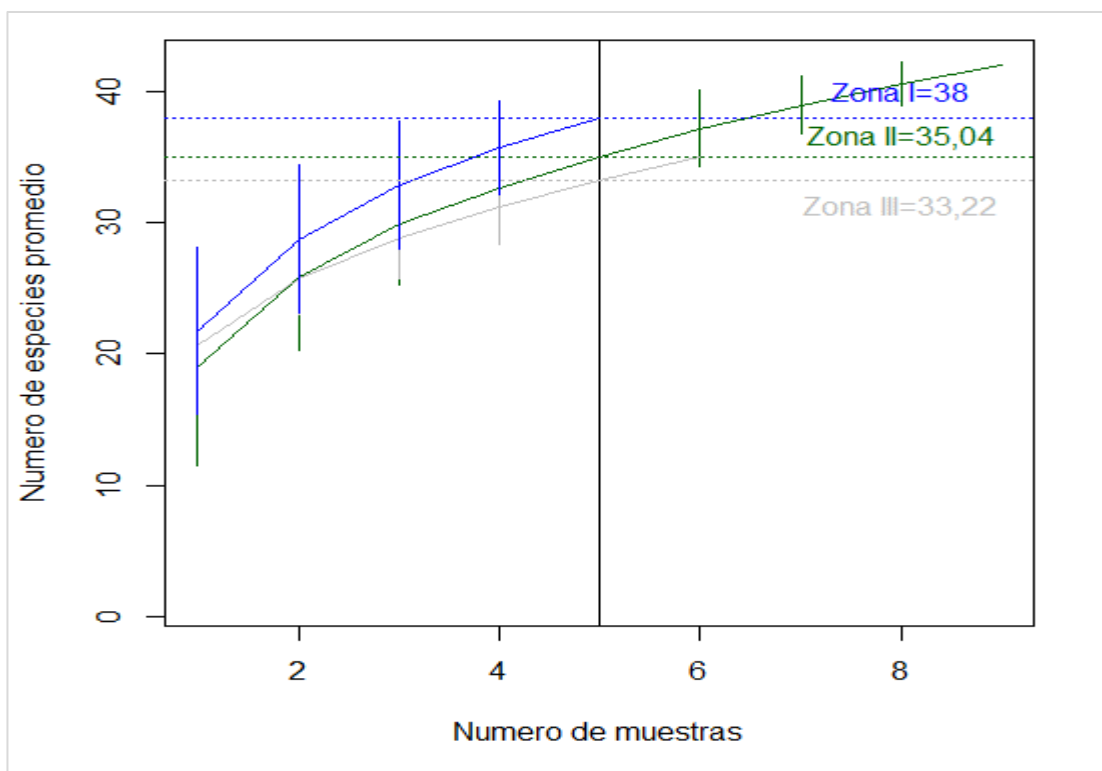


Figura 7.39. Curva de acumulación de especies para macroinvertebrados bentónicos – setiembre 2019



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 7.20

En junio de 2019 (Figura 7.40), la media de la zona I, II y III fueron muy similares entre ellas con valores de 1,121, 1,170 y 1,106 respectivamente. Por otro lado, los percentiles 50 fueron 0,950 (zona I), 1,170 (zona II) y 1,213 (zona III).

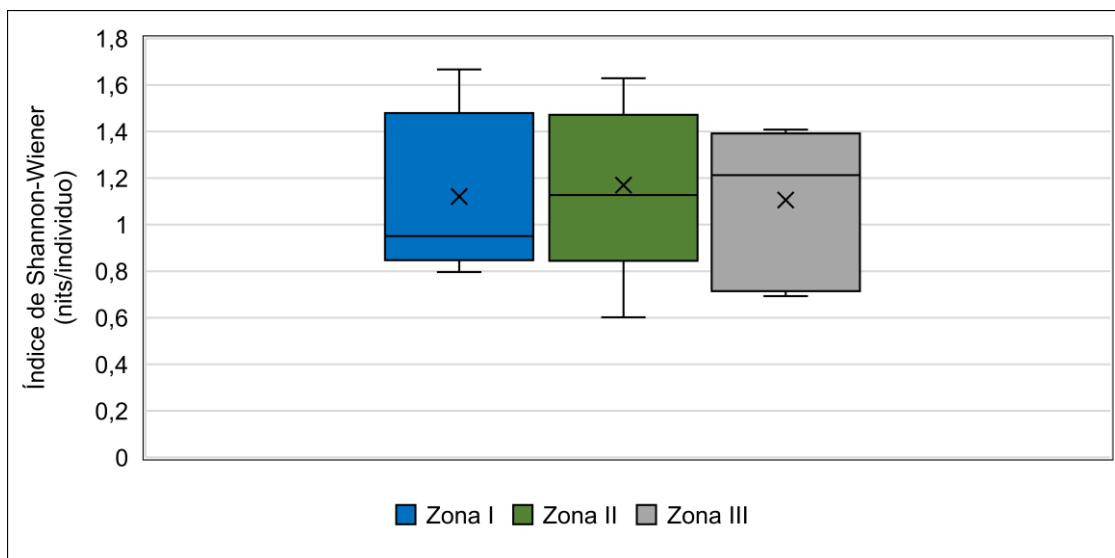


Figura 7.40. Gráfico de cajas del índice de Shannon - Wiener (H') para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos – junio 2019

En julio de 2019 (Figura 7.41), los valores media de las zonas I, II y III fueron similares con valores de 1,766, 1,878 y 1,830 nits/individuos respectivamente. Por otro lado, la mediana más alta fue de 2,055 nits/individuo en la zona II, seguido por las medianas de las zonas I y III con valores de 1,833 y 1,874 nits/individuo respectivamente. El registro más bajo fue obtenido en la zona II con un valor de 0,470 nits/individuo.

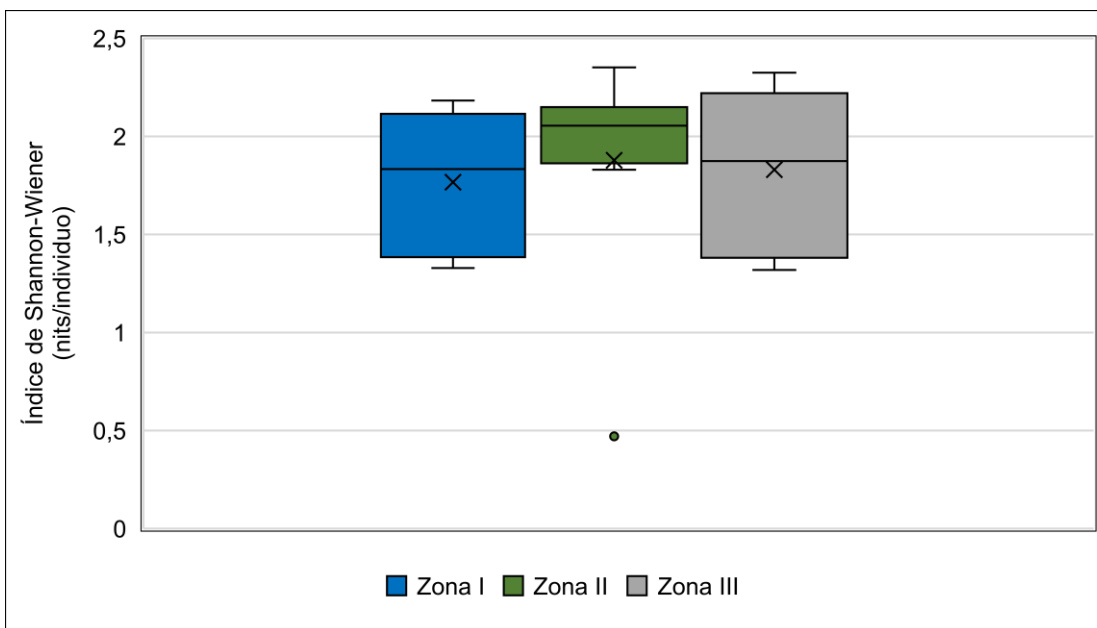


Figura 7.41. Gráfico de cajas del índice de Shannon - Wiener (H') para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos – julio 2019

En setiembre de 2019 (Figura 7.42). la menor media (1,878 nits/individuo) y mediana (2,055 nits/individuo) fue de la zona II. Los valores de media de las zona I y III fueron similares con valores de 2,366 y 2,371 nits/individuo respectivamente, asimismo fueron semejantes los valores de mediana de las zonas I y III con registros de 2,318 y 2,364 nits/individuo respectivamente.

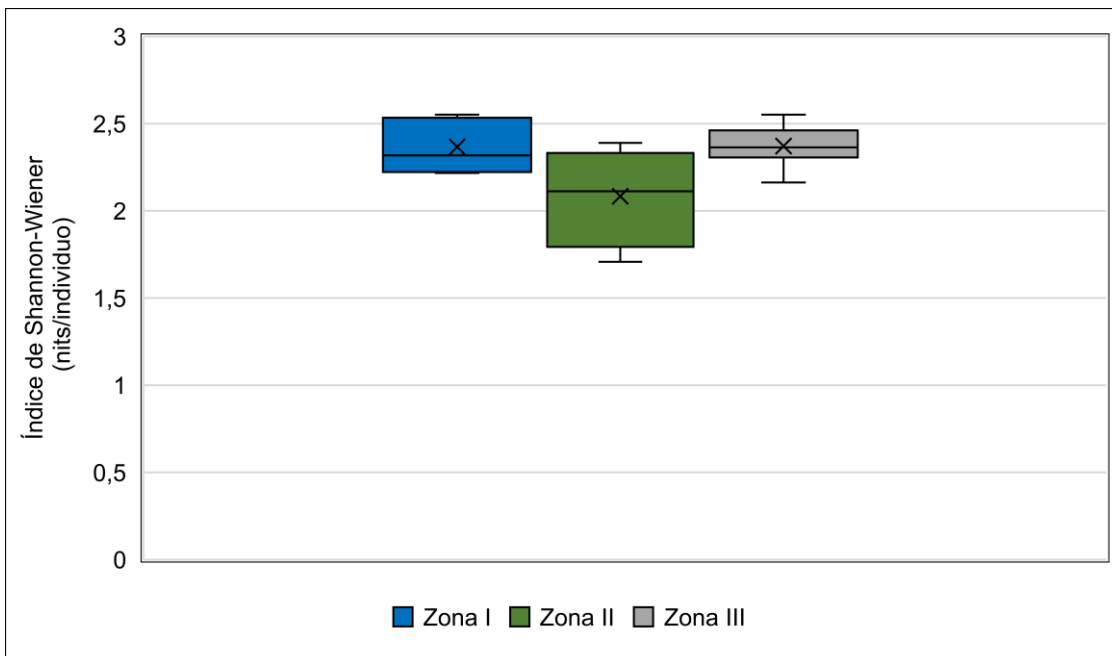


Figura 7.42. Gráfico de cajas del índice de Shannon - Wiener (H') para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos - setiembre 2019

**Tabla 7.20.** 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-32	0,898	2,183	2,217
	RPat-33	1,667	1,329	2,516
	RPat-34	0,950	1,440	2,551
	RPat-5	0,796	1,833	2,318
	RPat-35	1,291	2,047	2,228
	Media	1,121	1,766	2,366
	Mediana	0,950	1,833	2,318
Zona II	RPat-27	0,602	2,108	1,785
	RPat-36	1,091	2,085	2,080
	RPat-37	0,895	2,352	2,341
	RPat-28	0,794	0,470	2,389
	RPat-38	1,454	1,895	2,322
	RPat-39	1,629	2,190	2,112
	RPat-6	1,447	2,055	2,210
	RPat-40	1,489	1,830	1,707
	RPat-41	1,127	1,919	1,801
	Mediana	1,170	1,878	2,083
	Mediana	1,127	2,055	2,112
Zona III	RPat-42	0,722	2,325	2,551
	RPat-29	1,386	1,402	2,357
	RPat-43	1,408	1,919	2,370
	RPat-44	1,276	2,186	2,431
	RPat-30	0,693	1,319	2,354
	RPat-45	1,149	1,829	2,162
	Media	1,106	1,830	2,371
	Mediana	1,213	1,874	2,364

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 7.21

En junio 2019 (Figura 7.43), la equidad de la zona II fue la más baja con una media y mediana de 0,631 y 0,629 respectivamente. La zona III tuvo la media y mediana más alta con valores de 0,820 y 0,776 respectivamente, mientras que la zona I tuvo una media y mediana de 0,729 y 0,725 respectivamente.

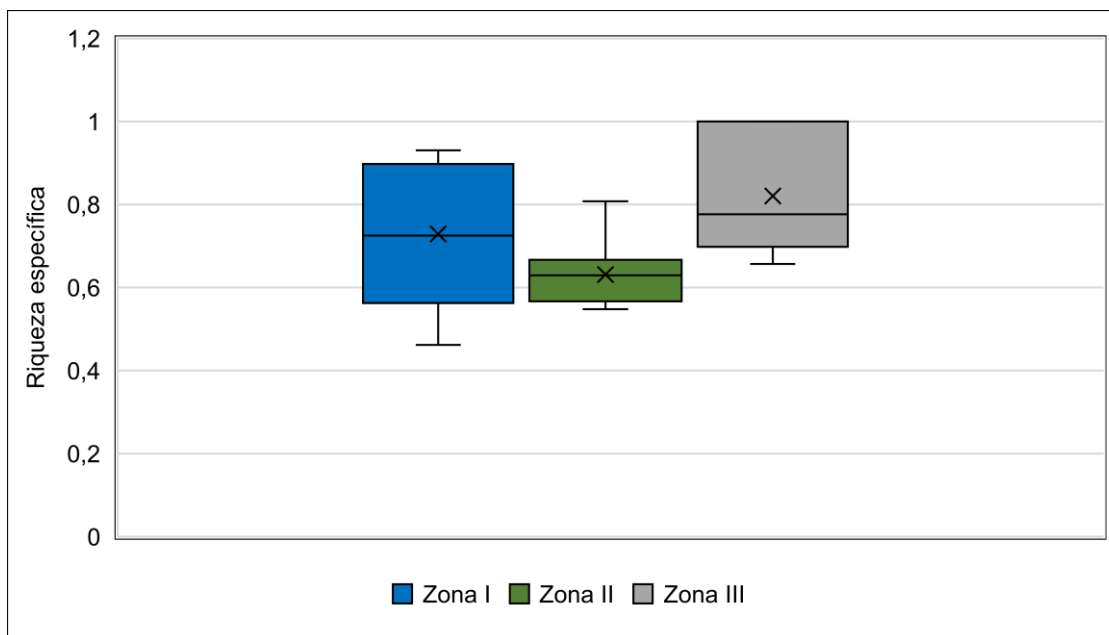


Figura 7.43. Gráfico de cajas de la Equidad de Pielou (J') para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos – junio 2019

En julio 2019 (Figura 7.44), los valores de media de la zona I, II y III fueron similares con registros de 0,724, 0,739 y 0,758 respectivamente. Asimismo, el percentil 50 fue similar entre las zonas I, II y III con registros de 0,739, 0,759 y 0,745 respectivamente.

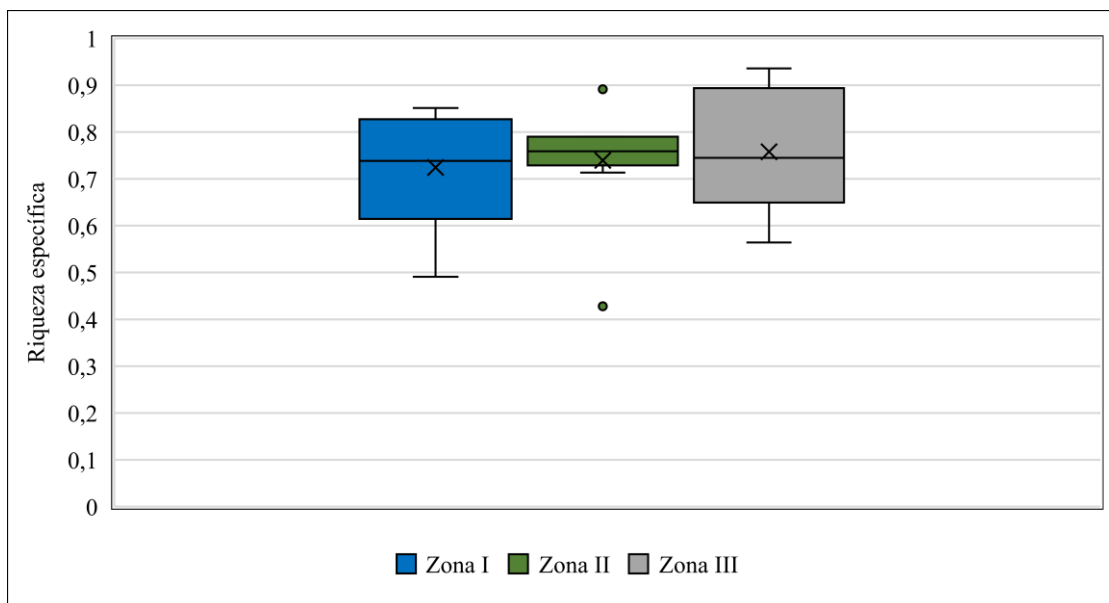


Figura 7.44. Gráfico de cajas de la Equidad de Pielou (J') para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos – julio 2019

En setiembre 2019 (Figura 7.45), la media y mediana de la zona II fue la más baja con un registro de 0,713 y 0,722 respectivamente. Los valores de media de la zona I y III fueron similares con registros de 0,773 y 0,786 respectivamente, asimismo los valores de la mediana fueron similares entre estas zonas con registros de 0,757 (zona I) y 0,789 (zona III). Finalmente, los valores más bajos de Equidad fueron registros en la zona II (RPat-40= 0,552).

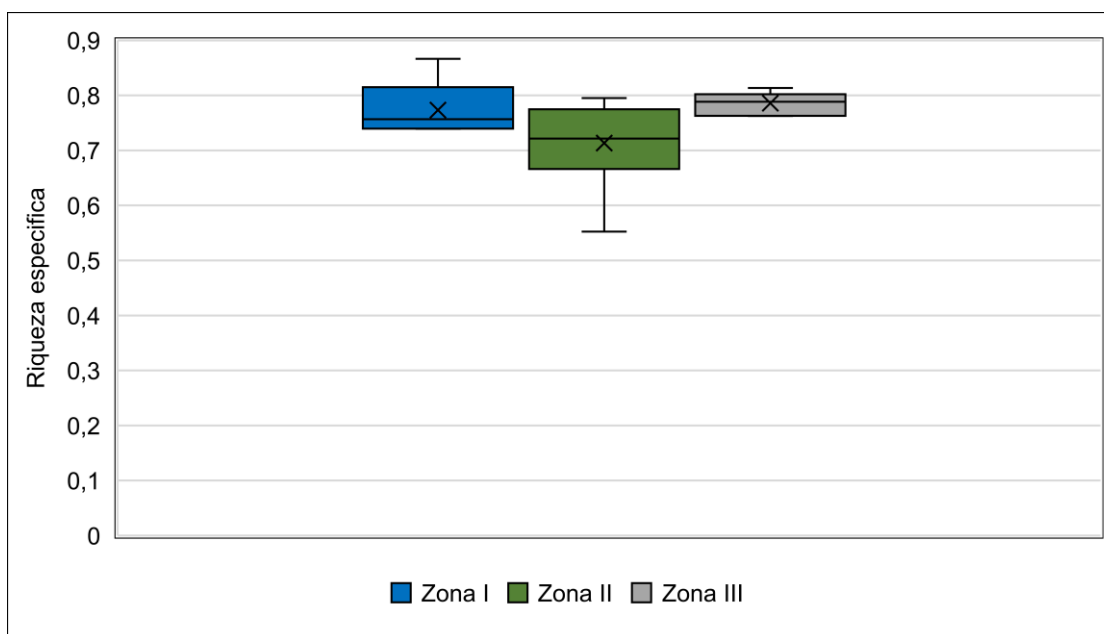


Figura 7.45. Gráfico de cajas de la Equidad de Pielou (J') para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos - setiembre 2019

Tabla 7.21. Registros de la Equidad de Pielou para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos

Zonas	Estaciones	Junio 2019	Julio 2019	Setiembre 2019
Zona I	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-5	0,725	0,738	0,739
	RPat-35	0,664	0,739	0,757
	Media	0,729	0,724	0,773
	Mediana	0,725	0,739	0,757
Zona II	RPat-27	0,548	0,744	0,718
	RPat-36	0,561	0,790	0,750
	RPat-37	0,646	0,891	0,795
	RPat-28	0,573	0,428	0,785
	RPat-38	0,585	0,790	0,722
	RPat-39	0,656	0,790	0,683
	RPat-6	0,808	0,759	0,765
	RPat-40	0,678	0,713	0,552
	RPat-41	0,629	0,748	0,649
	Media	0,631	0,739	0,713
	Mediana	0,629	0,759	0,722
Zona III	RPat-42	0,657	0,936	0,814
	RPat-29	1,000	0,564	0,762
	RPat-43	0,724	0,727	0,791
	RPat-44	0,712	0,880	0,798
	RPat-30	1,000	0,678	0,786
	RPat-45	0,829	0,763	0,763
	Media	0,820	0,758	0,786
	Mediana	0,776	0,745	0,789



c. Abundancia (N)

Los registros de abundancias de cada estación y su transformación en logaritmo natural, ordenadas por zonas y temporadas son presentados en la Tabla 7.22.

En junio 2019 (Figura 7.46), la mediana de la zona I fue el más alto con un valor de 53 individuos ($Ln=3,970$), seguido por la zona II con un valor de 35 organismos ($Ln= 3,555$) y finalmente la zona III con un valor de 11 ($Ln=2,341$). Para el caso de la media, el más alto fue de la zona II con un valor de 42 organismos ($Ln=3,447$), seguido por la zona I con un valor de 47 organismos ($Ln=3,261$) y finalmente, la zona III con un valor de 13 organismos ($Ln=2,216$).

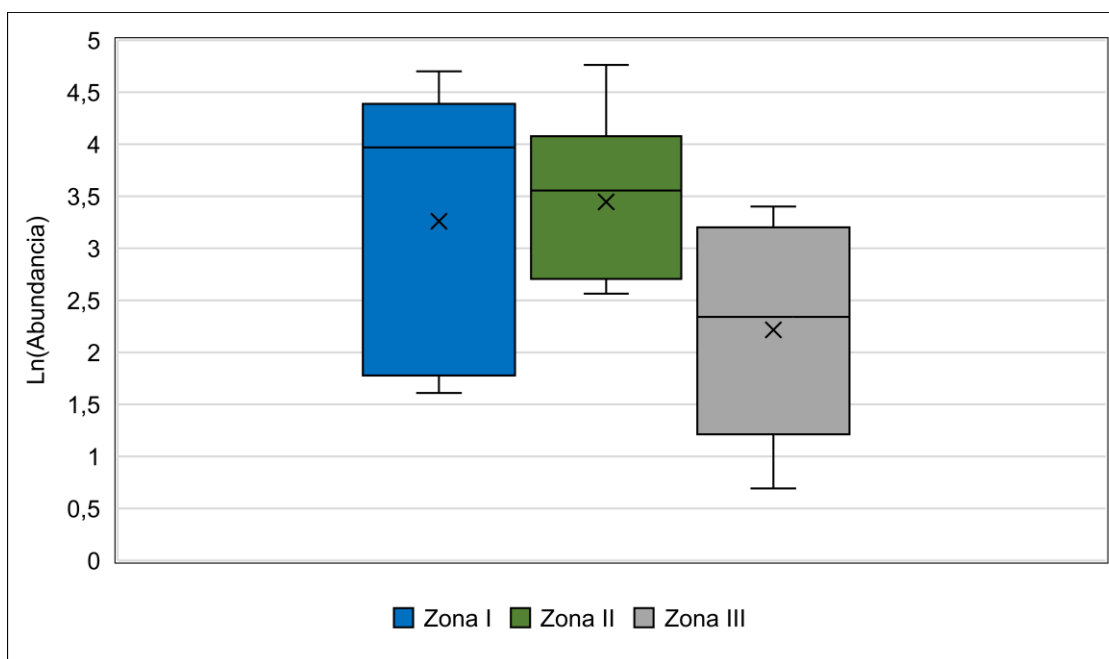


Figura 7.46. Gráfico de cajas del logaritmo natural de la abundancia $Ln(N)$ para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos – junio 2019

En julio 2019 (Figura 7.47), la mediana fue mayor en la zona I con un valor de 171 organismos ($Ln= 5,142$), seguido por la zona II con un valor de 73 organismos ($Ln=4,290$) y la zona III con un valor de 44 ($Ln=3,767$). Las media presentó el mismo patrón encontrado en las medianas, con el valor más alto para la zona I (157 organismos, $Ln=4,627$), seguidp por la zona II (85 organismos, $Ln= 4,271$) y la zona III (70 organismos, $Ln=4,034$).

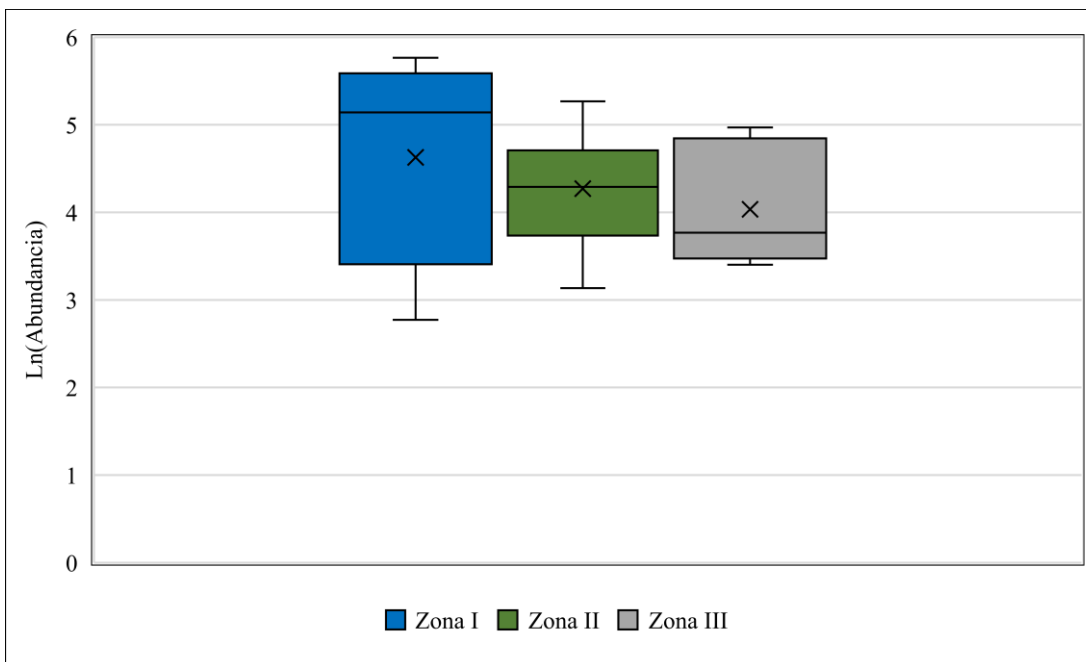


Figura 7.47. Gráfico de cajas del logaritmo natural de la abundancia (Ln(N)) para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos – julio 2019

En setiembre 2019 (Figura 7.48), el escenario fue diferente a lo registro en junio y julio. La zona II tuvo la media más productiva con un valor de 1175 organismos (Ln=6,775), seguido por la zona I con un valor de 615 organismos (Ln=6,234) y la zona III con un valor de 398 organismos (Ln=5,899). La mediana siguió el mismo patrón que la media, con el registro más alto en la zona II (929 organismos, Ln= 6,834), seguido por la zona I (787 organismos, Ln=6,688) y finalmente la zona III (437 organismos, Ln 6,080). Los valores más altos de abundancia fueron encontrados en la zona II como RPat-39 con un valor de 2426 organismos, el cual maraca el límite del gráfico de cajas (Ln=7,794).

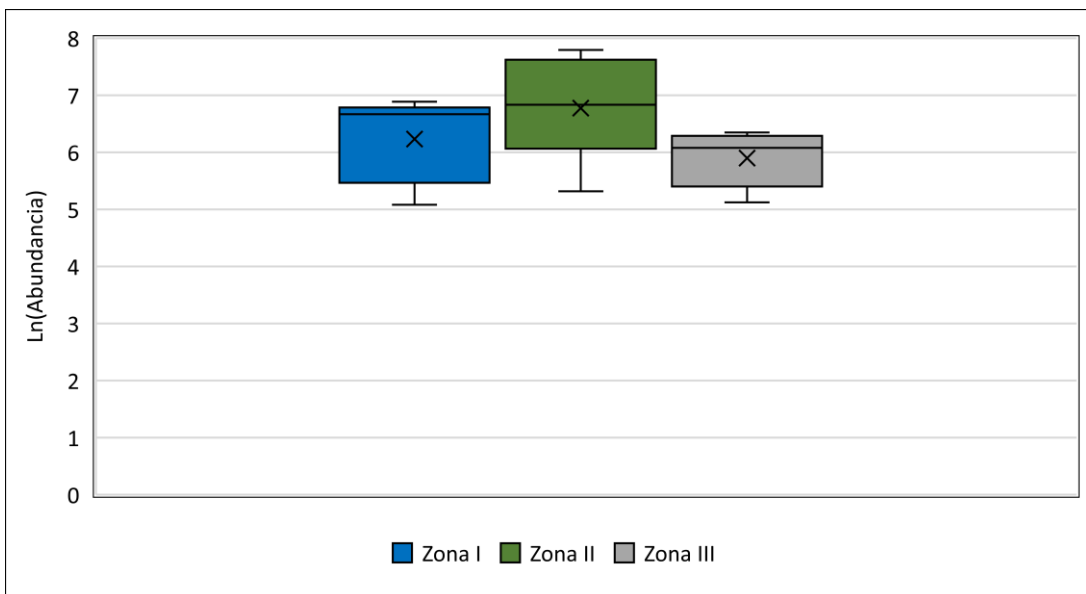


Figura 7.48. Gráfico de cajas del logaritmo natural de la abundancia Ln(N)) para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos – setiembre 2019

Tabla 7.22. Registros de la Abundancia para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos



Zonas	Estaciones	Junio 2019		Julio 2019		Setiembre 2019	
		Abundancia	Logaritmo natural	Abundancia	Logaritmo natural	Abundancia	Logaritmo natural
Zona I	RPat-32	59	4,078	57	4,043	161	5,081
	RPat-33	53	3,970	319	5,765	801	6,686
	RPat-34	5	1,609	16	2,773	347	5,849
	RPat-5	7	1,946	171	5,142	980	6,888
	RPat-35	110	4,700	224	5,412	787	6,668
	Media	47	3,261	157	4,627	615	6,234
	Mediana	53	3,970	171	5,142	787	6,668
Zona II	RPat-27	16	2,773	194	5,268	293	5,680
	RPat-36	42	3,738	73	4,290	1772	7,480
	RPat-37	14	2,639	45	3,807	1316	7,182
	RPat-28	13	2,565	23	3,135	204	5,318
	RPat-38	79	4,369	98	4,585	647	6,472
	RPat-39	117	4,762	118	4,771	2426	7,794
	RPat-6	17	2,833	72	4,277	634	6,452
	RPat-40	44	3,784	39	3,664	2358	7,766
	RPat-41	35	3,555	104	4,644	929	6,834
	Media	42	3,447	85	4,271	1175	6,775
	Mediana	35	3,555	73	4,290	929	6,834
Zona III	RPat-42	12	2,485	52	3,951	572	6,349
	RPat-29	4	1,386	122	4,804	529	6,271
	RPat-43	30	3,401	144	4,970	447	6,103
	RPat-44	23	3,135	33	3,497	168	5,124
	RPat-30	2	0,693	36	3,584	427	6,057
	RPat-45	9	2,197	30	3,401	243	5,493
	Media	13	2,216	70	4,034	398	5,899
	Mediana	11	2,341	44	3,767	437	6,080

7.3.3.2 Calidad ecológica

El índice biótico andino (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 «bueno» del ABI. Solo en junio de 2019, la zona III estuvo entre moderado y bueno con un puntaje de 38. Para el mes de setiembre, las zonas obtuvieron un puntaje por encima de Muy Bueno: la zona I con un valor de 106, la zona II con 131 y la zona III con 89. Los puntajes del ABI se encuentran en la Figura 7.49.

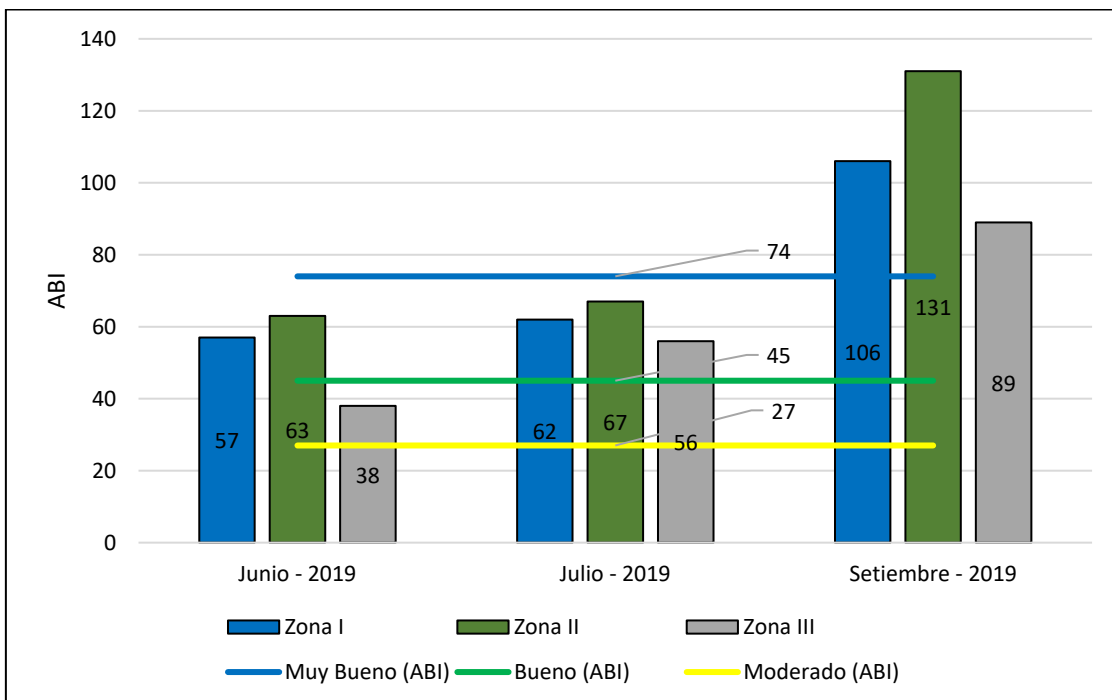


Figura 7.49. Gráfico de barras para los puntajes del ABI

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 7.50) para los meses de junio, julio y setiembre. Los registros más bajos fueron encontrados en el mes de junio, en particular para la zona III con un valor de 56, seguido por la zona I con un valor de 84. En el mes de julio, los valores de LIFE de las tres zonas fueron ligeramente superiores en comparación con junio, sin embargo, el patrón fue similar: la zona II con el registro más alto (101), seguido por la zona I con 89 y la zona III con 84. Los registros más altos fueron durante setiembre: la zona II con un valor de 180, seguido por la zona I con un valor de 151 y la zona III con 139.

La clasificación de las familias encontradas por grupo se encuentra en la Figura 7.51. Para el mes de junio, la zona II presentó ligeramente una mayor cantidad de familias del grupo II (taxa con preferencias a la ausencia de flujo), así como la presencia de una familia con preferencia a altas velocidades (grupo I). La zona I tuvo como peculiaridad la presencia de una familia en el grupo VI (taxa con preferencia a sitios sin agua). En julio, la presencia de familias a flujos moderados (grupo II) fue común en las tres zonas, la presencia de familias a flujos lentos o a la ausencia de este (grupo IV) siguió dominada por la zona II (valor de 4) y la presencia de familias a flujos lentos (grupo III) solo se encontró en la zona III. Para el mes de setiembre, la presencia de familias a flujos rápidos (grupo I), a flujos moderados (grupo II), a flujos lentos (grupo III), a flujos lentos o casi ausentes (grupo IV) fue similar en las tres zonas, sin embargo, la zona II tuvo ligeramente mayor cantidad de familias en los grupos I, III y IV. Finalmente, el grupo IV, caracterizado por preferencia a sitios sin agua estuvo presente solo en la zona II.

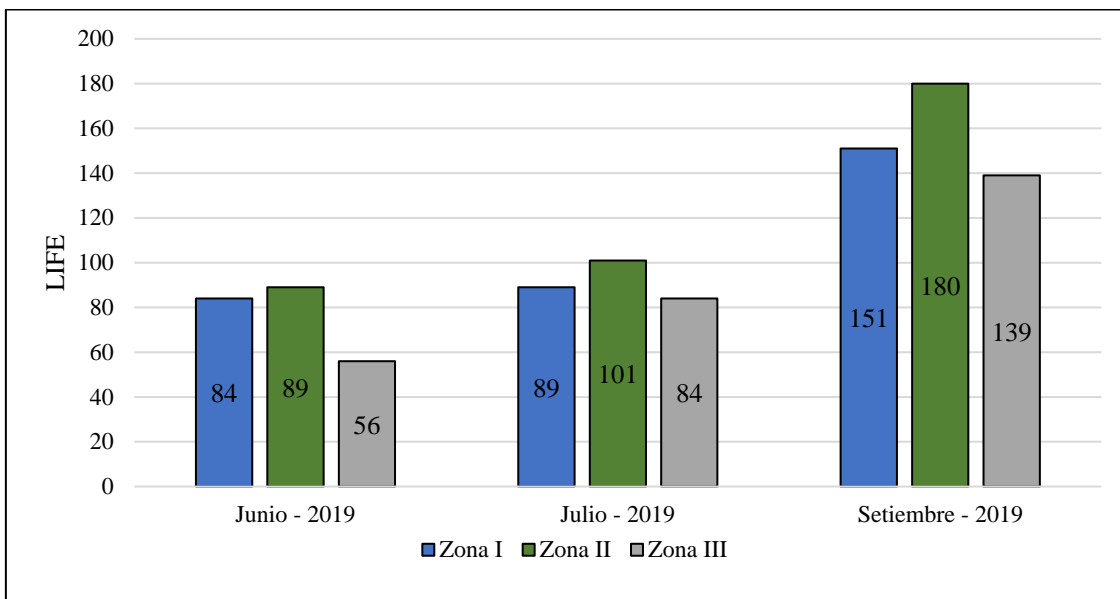


Figura 7.50. Gráfico de barras para los puntajes del LIFE

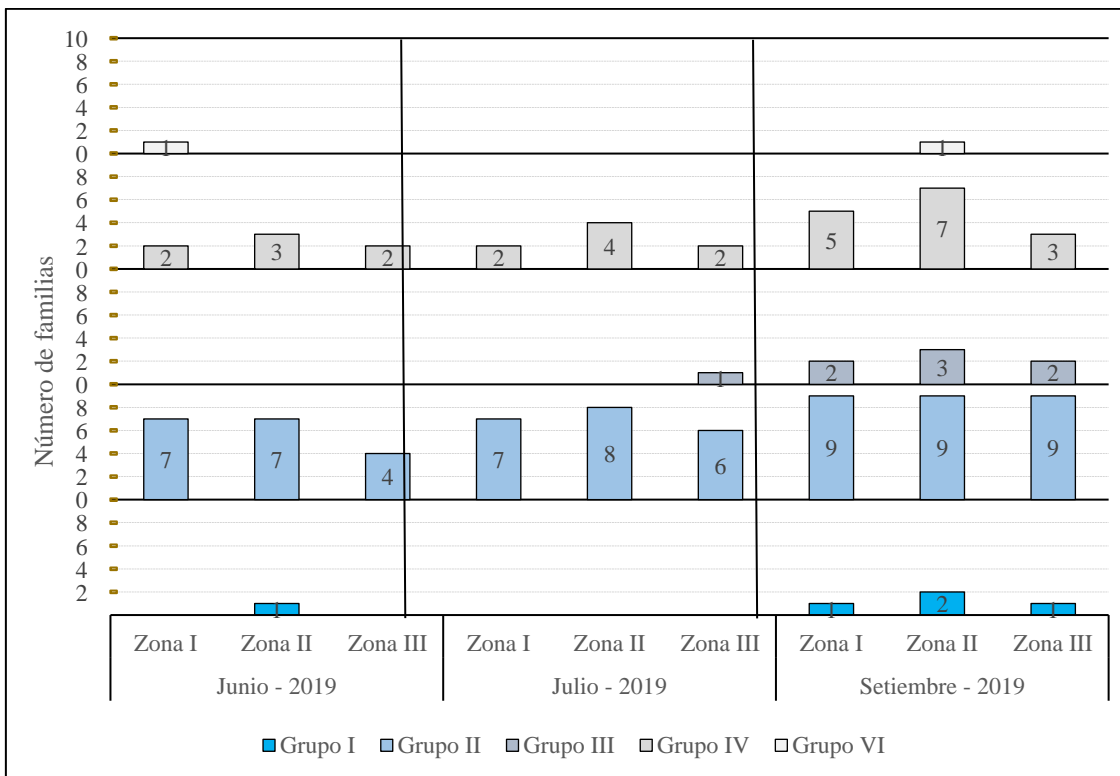


Figura 7.51. Número de familias encontradas en cada categoría del LIFE

7.3.3.4 Análisis de correspondencias canónicas

Los valores de las variables usadas en el análisis de correspondencias canónicas para las variables fisicoquímicas y la comunidad de perifiton se encuentran en el Anexo 11.

En el análisis de correspondencias canónicas las variables con mayor puntaje en el eje 1 fueron conductividad eléctrica con un valor de -0,755, oxígeno disuelto con un valor de -



0,755 y los Cloruros con un valor de 0,816. En el eje 2, las variables con un mayor puntaje fueron Fósforo con un valor de 0,422 y los sólidos totales en suspensión con un valor de 0,354. Los puntajes en el eje 1 y 2 de las variables fisicoquímicas usadas se encuentra en la Tabla 7.23 y los puntajes de las especies de macroinvertebrados bentónicos en los ejes 1 y 2 se encuentran en la Tabla 7.24.

A nivel espacial, el análisis de correspondencias canónicas no mostró diferencias como se puede apreciar en la Figura 7.52. Sin embargo, a nivel temporal mostró cierta separación, en particular para los meses de julio y setiembre (Figura 7.53). El mes de junio se traslapó en cada extremo con los meses de julio y setiembre.

Tabla 7.23. Variables fisicoquímicas con su respectiva abreviatura y puntajes en los ejes 1 y 2 del análisis de correspondencias canónicas

VARIABLES FISICOQUÍMICAS	ABREVIATURA	EJE 1	EJE 2
Potencial hidrógeno	pH	-0,456	0,063
Conductividad eléctrica	CE	-0,755	-0,241
Oxígeno disuelto	OD	-0,755	-0,175
Temperatura	T	0,383	0,297
Bicarbonato	Bic	0,026	-0,254
Demanda química de oxígeno	DQO	-0,632	-0,041
Sólidos totales disueltos	STD	-0,500	-0,156
Sólidos totales en suspensión	STS	0,326	0,354
Cloruros	Cl	0,816	-0,109
Fluoruros	F	0,600	-0,168
Nitratos	NO3	0,727	-0,065
Sulfatos	SO4	0,744	-0,032
Fósforo total	PT	0,589	0,118
Fósforo	P	-0,433	0,422


 Puntaje mayor a 0,3

Tabla 7.24. Especies de macroinvertebrados bentónicos con su respectiva abreviatura y sus puntajes en los ejes 1 y 2 usados en el análisis de correspondencias canónicas

ESPECIE	ABREVIATURA	EJE 1	EJE 2	ESPECIE	ABREVIATURA	EJE 1	EJE 2
Oligochaeta ND	OI	0,324	-0,421	<i>Oxyethira</i> sp.	T6	0,492	0,386
Physidae ND	G1	-1,901	-0,820	<i>Heterelmis</i> sp.	C1	-1,495	-0,184
Lymnaeidae ND	G2	0,780	-0,306	<i>Huleechius</i> sp.	C2	0,423	0,471
Acari ND	A1	0,822	-0,325	<i>Microcylloepus</i> sp.	C3	0,519	0,099
Coenagrionidae ND	Od1	-1,243	0,758	<i>Epimetopus</i> sp.	C4	0,914	-0,299
Libellulidae ND	Od2	-1,449	-0,028	<i>Hemiosus</i> sp.	C5	-2,324	23,353
<i>Americabaetis</i> sp.	E1	-0,225	-0,004	<i>Psephenops</i> sp.	C6	0,423	0,471
<i>Camelobaetidius</i> sp.	E3	-0,226	0,381	<i>Limonicola</i> sp.	D1	-0,890	2,728
<i>Baetodes</i> sp.	E4	-0,447	0,539	<i>Atrichopogon</i> sp.	D2	0,158	-0,450
<i>Fallceon</i> sp.	E5	-1,901	-0,820	<i>Cricotopus (isocladius)</i> sp.	D5	-1,606	-0,467
<i>Nanomis</i> sp.	E6	0,009	0,137	<i>Dicrotendipes</i> sp.	D6	0,469	-0,378



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

Table with 8 columns: Especie, Abreviatura, Eje 1, Eje 2, Especie, Abreviatura, Eje 1, Eje 2. It lists various species and their corresponding coordinates on two axes.

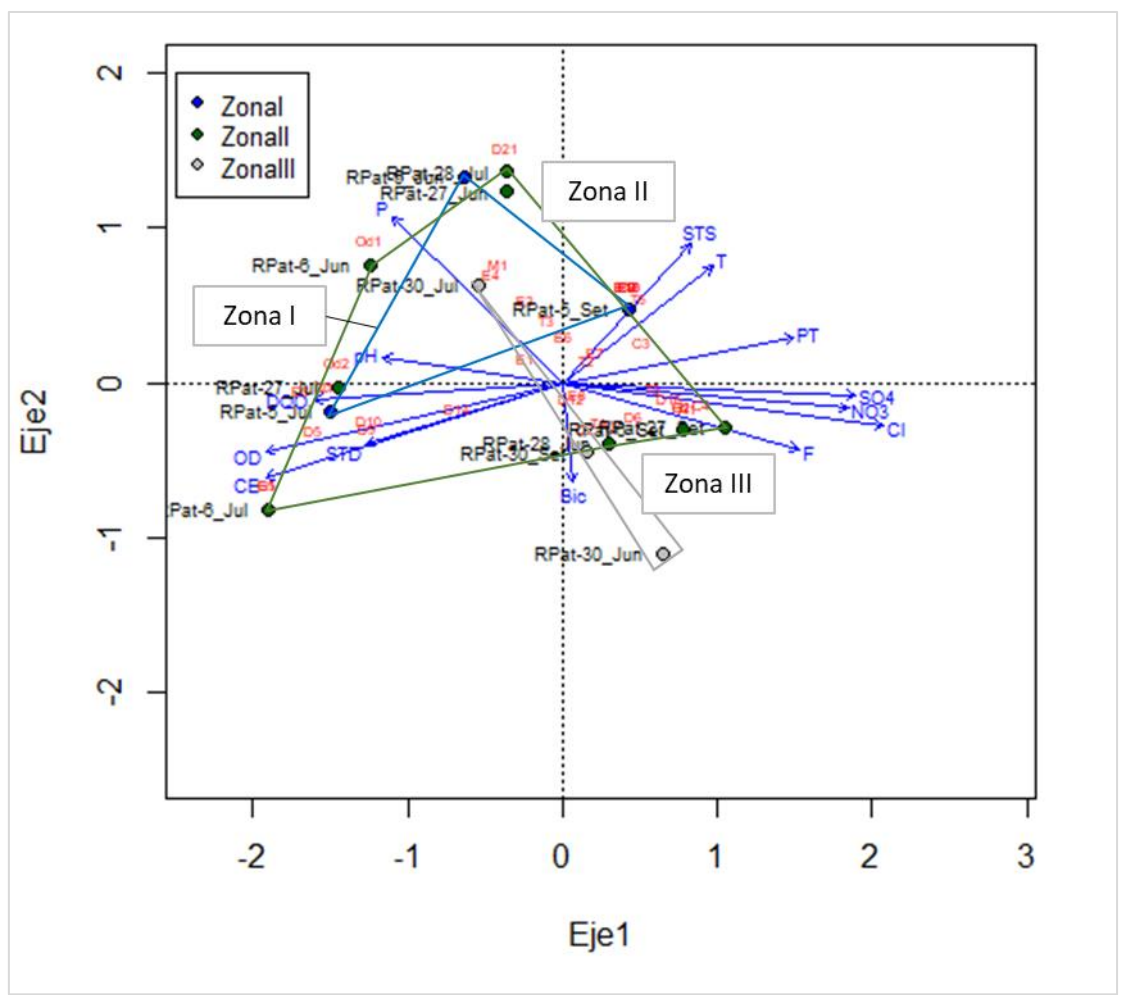


Figura 7.52. CCA usando parámetros de calidad de agua y macroinvertebrados bentónicos - zonas

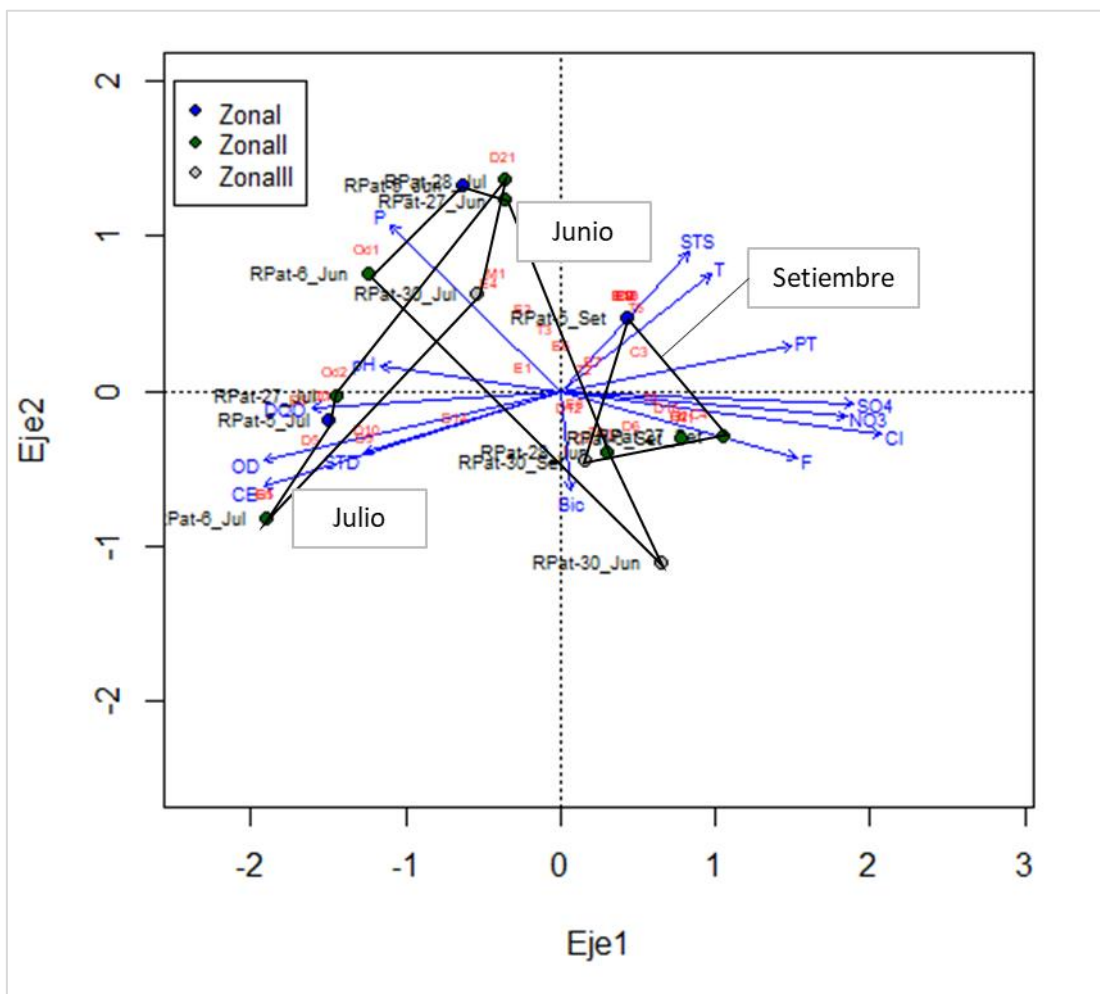


Figura 7.53. CCA para los parámetros de calidad de agua y la comunidad de macroinvertebrados bentónicos - temporadas

El análisis de correspondencias canónicas entre los metales en sedimentos y la comunidad de macroinvertebrados bentónicos mostró un mayor puntaje en el eje 1 para los metales: Arsénico (0,819), Cobalto (0,831), Cromo (0,823), Hierro (0,872), Níquel (0,811) y Zinc (0,825); mientras que para el eje 2 los mayores puntajes fueron para los metales Magnesio (-0,702), Sodio (-0,750) y Vanadio (-0,743). Los puntajes de los metales en los ejes 1 y 2 del análisis de correspondencias canónicas se encuentra en la Tabla 7.25 y los puntajes de las especies de macroinvertebrados bentónicos usadas en el análisis de correspondencias canónicas se encuentran en la Tabla 7.26.

A nivel espacial, el análisis de correspondencias canónicas no mostró diferencias (Figura 7.54), sin embargo, en términos temporales, el análisis de correspondencias canónicas mostró cierta separación entre los meses (Figura 7.55). Los meses julio y setiembre se distanciaron claramente, mientras que, los meses de junio y setiembre tuvieron más cercanía, así como los meses de junio y julio. La cercanía de los vectores de los metales (con excepción de Titanio) en la parte positiva del eje 1 y la parte negativa del eje 2 muestra la cercana correlación existente entre estas variables.

**Tabla 7.25.** Variables en sedimentos con su respectiva abreviatura y puntajes en los ejes 1 y 2 del análisis de correspondencias canónicas

Metales en sedimentos	Abreviatura	Eje 1	Eje 2
Aluminio	Al	0,770	-0,589
Arsenico	As	0,819	-0,015
Cobalto	Co	0,831	-0,043
Cromo	Cr	0,823	-0,477
Hierro	Fe	0,872	-0,194
Potasio	K	0,713	-0,627
Magnesio	Mg	0,352	-0,702
Sodio	Na	0,356	-0,750
Niquel	Ni	0,811	-0,038
Vanadio	V	0,557	-0,743
Zinc	Zn	0,825	-0,034
Titanio	Ti	-0,422	-0,475

Puntaje mayor a 0,7

Tabla 7.26. Especies de macroinvertebrados bentónicos con su respectiva abreviatura y sus puntajes en los ejes 1 y 2 usados en el análisis de correspondencias canónicas en sedimentos

Especie	Abreviatura	Eje 1	Eje 2	Especie	Abreviatura	Eje 1	Eje 2
Oligochaeta ND	OI	-0,093	-1,188	<i>Oxyethira</i> sp.	T6	0,938	0,132
Physidae ND	G1	-1,596	-0,494	<i>Heterelmis</i> sp.	C1	-1,060	0,008
Acarí ND	A1	-2,294	-0,727	<i>Huleechius</i> sp.	C2	0,938	0,132
Coenagrionidae ND	Od1	-0,606	0,979	<i>Microcylloepus</i> sp.	C3	0,788	-0,051
Libellulidae ND	Od2	-1,081	0,729	<i>Hemiosus</i> sp.	C5	0,050	1,605
<i>Americabaetis</i> sp.	E1	0,042	-0,181	<i>Psephenops</i> sp.	C6	0,938	0,132
<i>Camelobaetidius</i> sp.	E3	0,104	0,297	<i>Limnicola</i> sp.	D1	-0,220	0,374
<i>Baetodes</i> sp.	E4	-0,266	1,172	<i>Atrichopogon</i> sp.	D2	0,283	-1,362
<i>Fallceon</i> sp.	E5	-1,596	-0,494	<i>Cricotopus (isocladus)</i> sp.	D5	-1,276	-0,332
<i>Nanomis</i> sp.	E6	0,372	0,009	<i>Dicrotendipes</i> sp.	D6	0,283	-1,362
<i>Leptohyphes</i> sp.	E7	0,431	-0,143	<i>Limaya</i> sp.	D8	-1,323	0,438
<i>Tricorythodessp.</i>	E8	-0,054	-0,654	<i>Onconeura</i> sp.	D9	-0,973	-0,390
<i>Thraulodes</i> sp.	E9	0,938	0,132	Orthocladinae ND	D10	-1,151	-0,307
<i>cf. Lachlania</i> sp.	E10	0,938	0,132	<i>Poypedilum</i> sp.	D12	-0,663	-0,017
<i>Corydalis</i> sp.	M1	0,166	0,555	<i>Pentaneura</i> sp.	D13	-1,060	0,008
<i>Atopsyche</i> sp.	T2	0,273	-0,205	Pentaneurini ND	D14	-0,386	-0,553
<i>Smicridea</i> sp.	T3	0,076	0,576	Tanyarsinii ND	D16	0,428	-0,709
<i>Hydroptila</i> sp.	T4	-0,657	-0,928	<i>Limnophora</i> sp.	D18	0,938	0,132
<i>Metrichia</i> sp.	T5	0,522	-0,740	<i>Hexatoma</i> sp.	D21	0,176	1,885

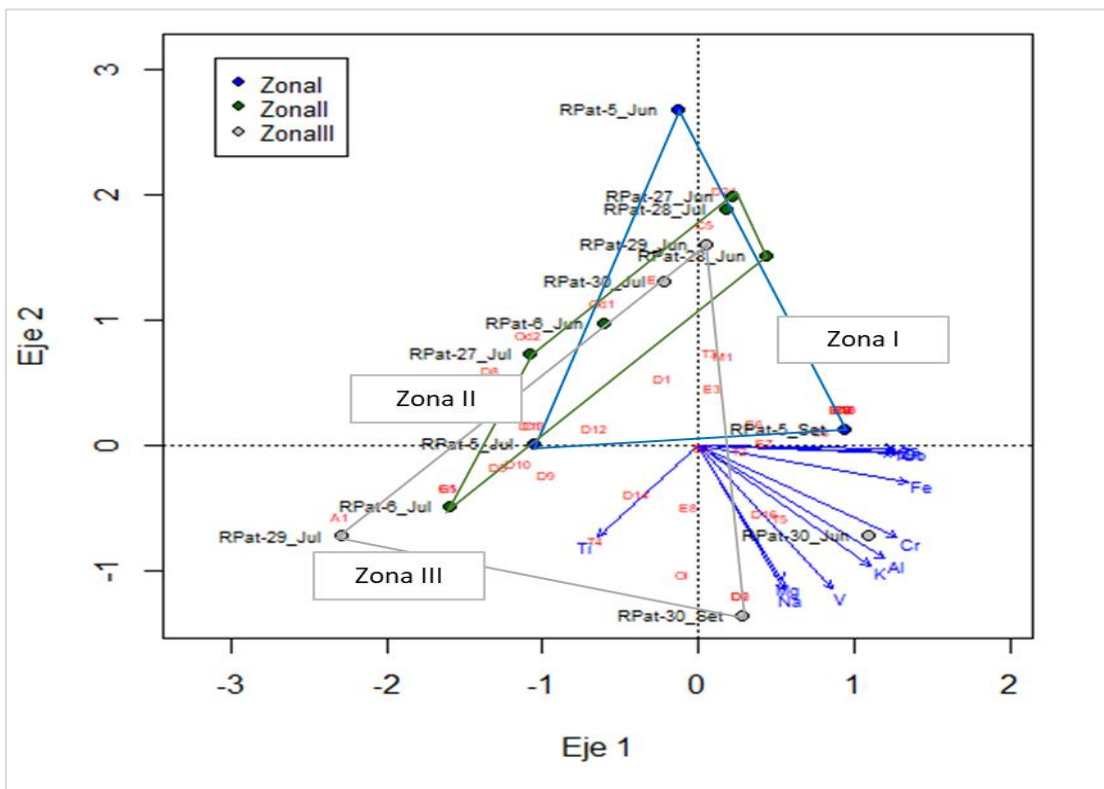


Figura 7.54. CCA para los parámetros de sedimentos y la comunidad de macroinvertebrados bentónicos – zonas

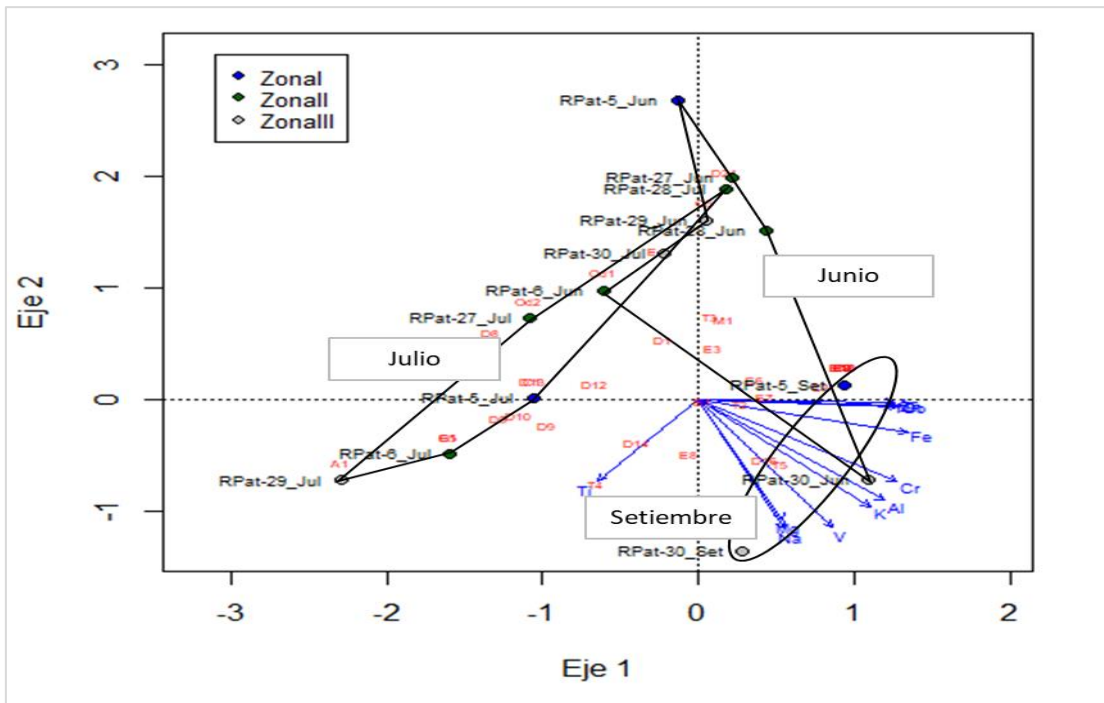


Figura 7.55. CCA para los parámetros de sedimentos y la comunidad de macroinvertebrados bentónicos - temporadas



7.3.4 Camarón de río (*Cryphiops caementarius*)

7.3.4.1 Distribución de tallas

La distribución de tallas en intervalos de 1 cm (Tabla 7.27 y Figura 7.56) se realizó solo a nivel espacial. Las zonas presentaron diferencias en la distribución de tallas, la zona I presentó una bimodal con picos en el intervalo de 3,5 a 4,5 cm. (19 individuos) y 9,5 a 10,5 cm. (15 individuos). Por otro lado, la zona II presentó una distribución unimodal con un pico en el intervalo de 9,5 a 10,5 (20 individuos), mientras que la zona III tuvo una distribución bimodal con una cantidad de individuos de 5 en los intervalos 7,5 a 8,5 y 13,5 a 14,5. La zona III se caracterizó por la escasez de camarones en comparación con las zona I y III, mientras que, la zona II se caracterizó por una menor frecuencia de individuos pequeños (<5 cm) en comparación con la zona I.

Tabla 7.27. Número de individuos por intervalo de longitud total (cm)

Intervalos (cm)	Valor central	Zona I	Zona II	Zona III
[1,5 - 2,5]	1	9	1	0
(2,5 - 3,5]	2	15	4	0
(3,5 - 4,5]	3	19	7	1
(4,5 - 5,5]	4	6	1	0
(5,5 - 6,5]	5	2	8	1
(6,5 - 7,5]	6	6	2	1
(7,5 - 8,5]	7	13	9	5
(8,5 - 9,5]	8	11	9	2
(9,5 - 10,5]	9	15	20	3
(10,5 - 11,5]	10	6	10	1
(11,5 - 12,5]	11	4	5	0
(12,5 - 13,5]	12	1	7	1
(13,5 - 14,5]	13	4	4	5
(14,5 - 15,5]	14	2	2	1
(15,5 - 16,5]	15	0	0	0
(16,5 - 17,5]	16	0	0	0
(17,5 - 18,5]	17	0	0	0
(18,5 - 19,5]	18	0	0	0
(19,5 - 20,5]	19	0	0	1

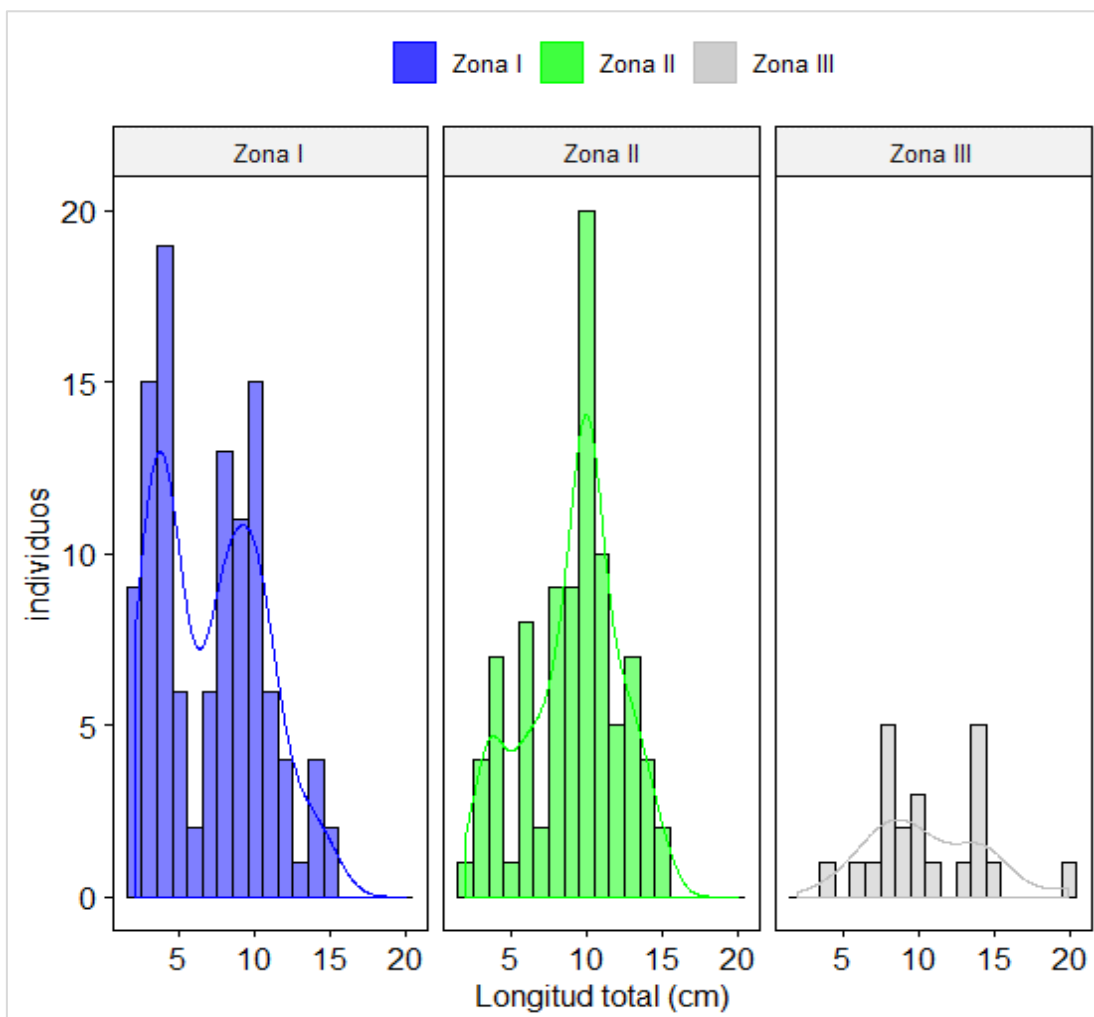


Figura 7.56. Histograma para las tallas (longitud total) de camarones

7.3.4.2 Relación longitud – peso total y factor de condición

Los *Cryphiops caementarius* machos presentaron un mayor desarrollo de uno de los periopodos 2 (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 7.57) y hembras junto a juveniles (Figura 7.68). La Figura 7.57 muestra como los valores se ajustan al modelo potencial, con un coeficiente de determinación de 0,9146 y la Figura 7.58 muestra un ajuste de 0,8246 para el modelo potencial de hembras con juveniles.

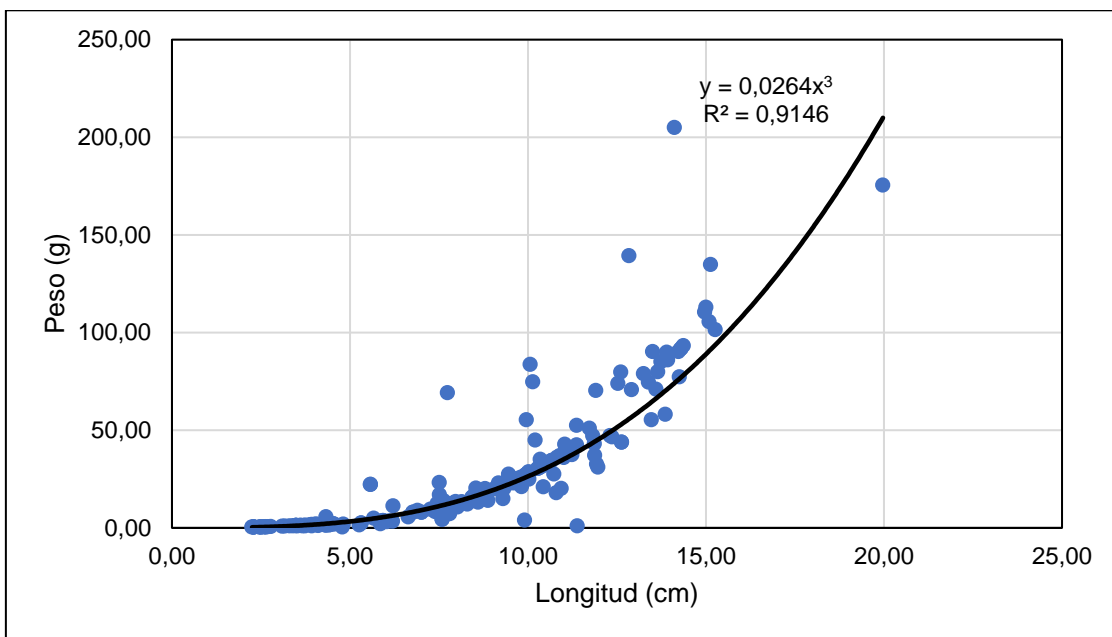


Figura 7.57. Relación alométrica entre los valores de longitud (cm) y peso (g) para camarones machos

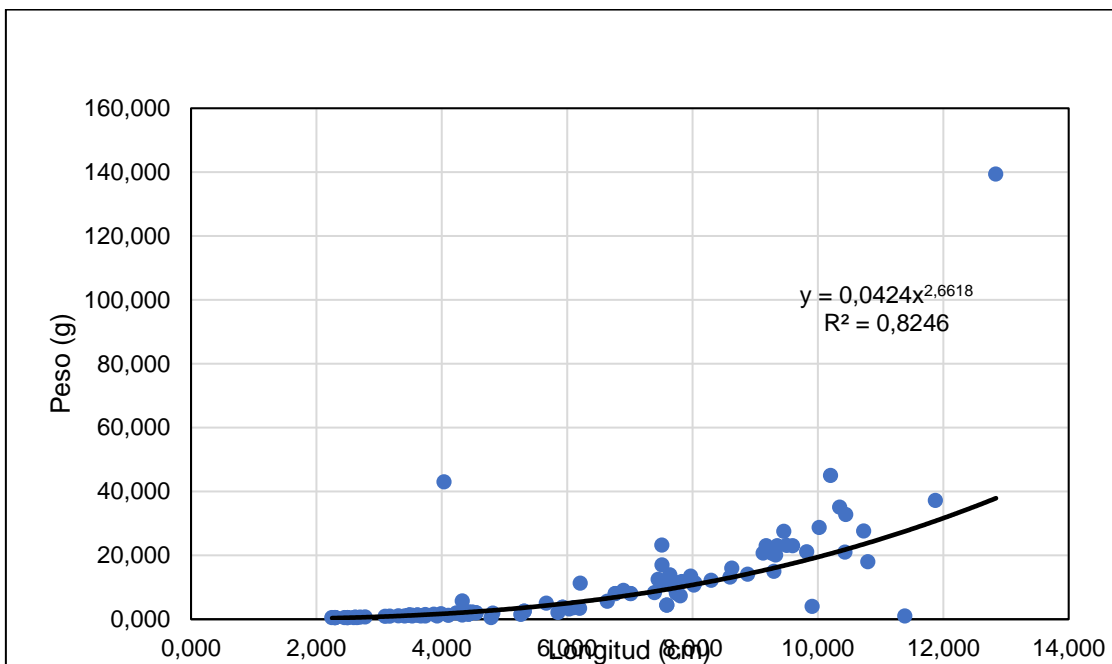


Figura 7.58. Relación alométrica entre los valores de longitud (cm) y peso (g) para camarones hembras y juveniles

El factor de condición se obtuvo por separado en base al modelo alométrico para machos (Figura 7.69) y hembras – juveniles (Figura 7.60). Los valores de los gráficos de cajas se encuentran en la Tabla 7.28. Para el caso de los machos (Figura 7.69), la zona II tuvo muchos valores atípicos y una media superior (3,475 cm) a las zonas I (3,219 cm) y III (2,900 cm). Los valores del primer cuartil fueron similares en las zonas I y III con valores de 2,661 y 2,621 cm respectivamente, asimismo los valores del tercer cuartil fueron similares con valores de 3,183 y 3,139 cm para la zona I y III respectivamente. La mediana fue similar entre las tres zonas con registros de 2,809 cm para la zona I, 2,777 cm para la zona II y 2,823 cm para la zona III.



Tabla 7.28. Valores de media y cuartiles para el factor de condición por zonas y sexo

Sexo	Zonas	Media	Primer cuartil	Mediana	Tercer cuartil
Machos	Zona I	3,219	2,661	2,809	3,183
	Zona II	3,475	2,677	2,777	2,928
	Zona III	2,900	2,621	2,823	3,139
Hembras	Zona I	4,37	3,804	4,338	4,92
	Zona II	4,433	2,987	4,332	5,239
	Zona III	6,208	3,388	6,100	8,646

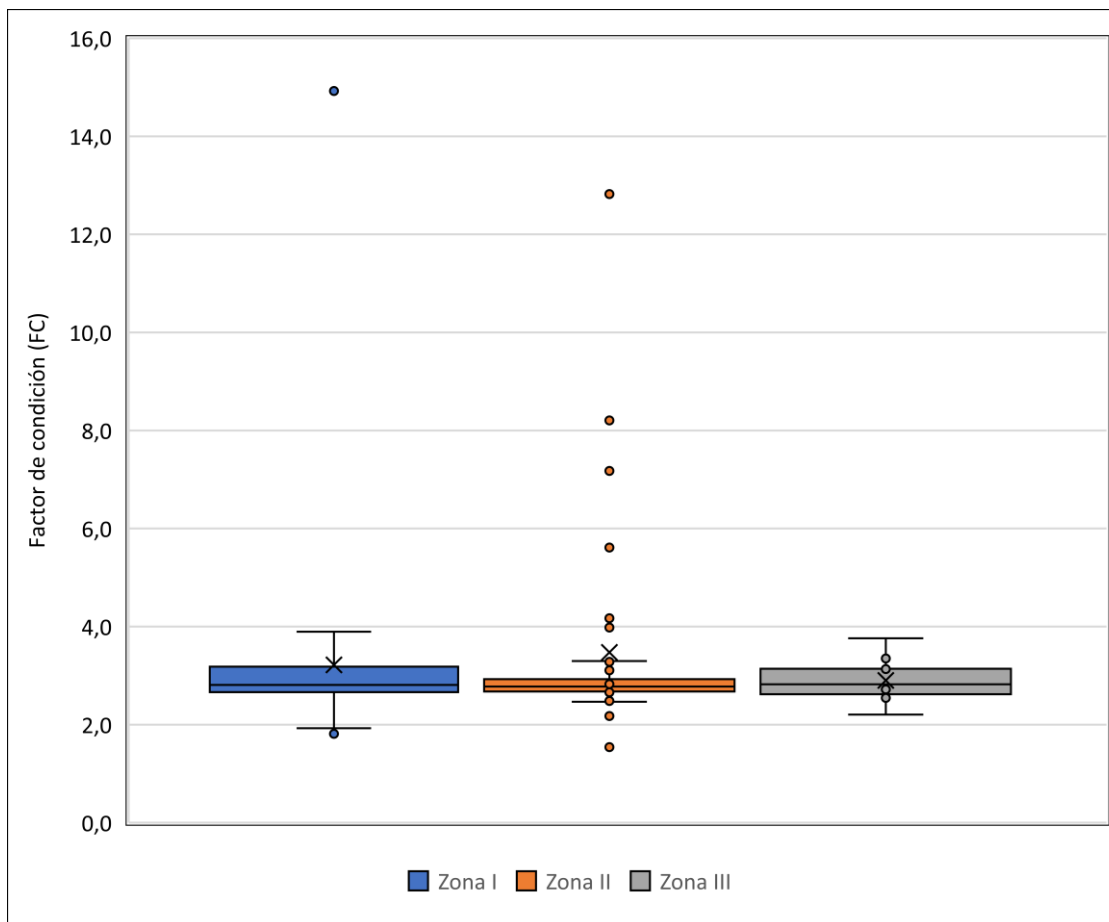


Figura 7.59. Gráfico de cajas para el factor de condición (FC) de machos

Para el caso de las hembras y juveniles (Figura 7.59), el patrón de comportamiento de las cajas fue diferente a lo registrado en los machos. La media y mediana más alta fue de la zona III con valores de 6,208 y 6,100 cm respectivamente. La media siguiente fue de la zona II con un valor de 4,433 cm y al último la zona I con 4,370 cm. Los registros más bajos de factor de condición se encuentran en la zona II, notándose en el valor de su primer cuartil con 2,987 cm (valor más bajo de las tres zonas).

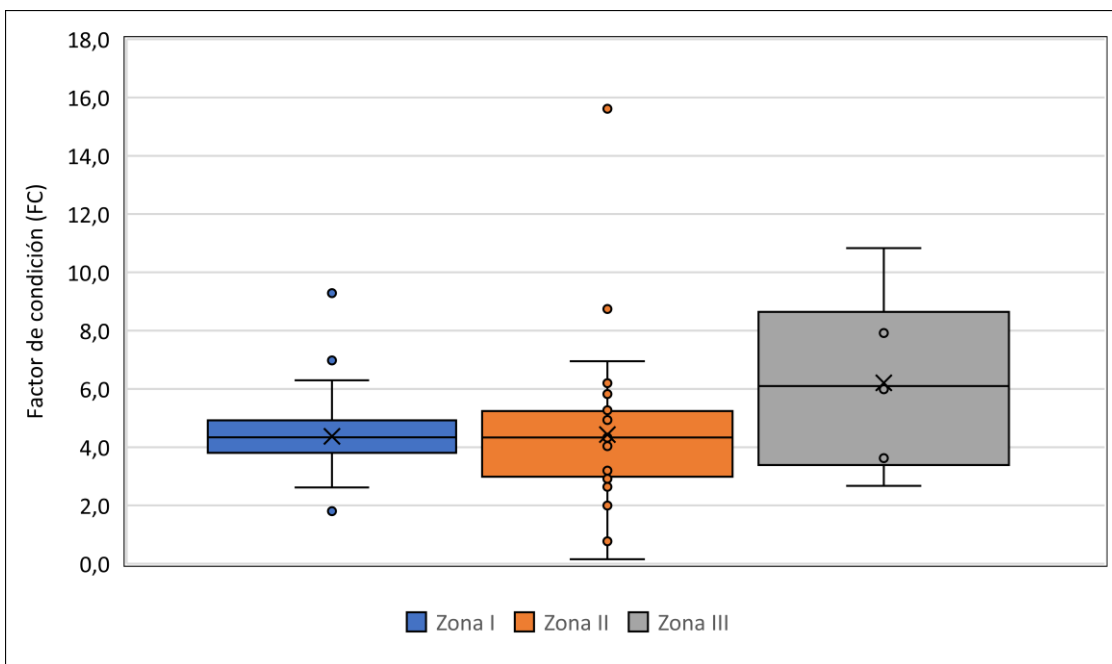


Figura 7.60. Gráfico de cajas para el factor de condición (FC) de hembras y juveniles

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 (7.61). La mayor cantidad de juveniles fue registrada en la zona I del mes de julio, setiembre y octubre. La mayor cantidad de machos fue registrada en la zona I de junio y en la zona II de julio, setiembre y octubre. Finalmente, la mayor cantidad de hembras fue registrada en la zona II de junio 2019 y zona I de julio, setiembre y octubre 2019. Esto es corroborable con los resultados del histograma para la longitud total (Figura 7.61) donde se observó una alta frecuencia de individuos pequeños y de adultos.

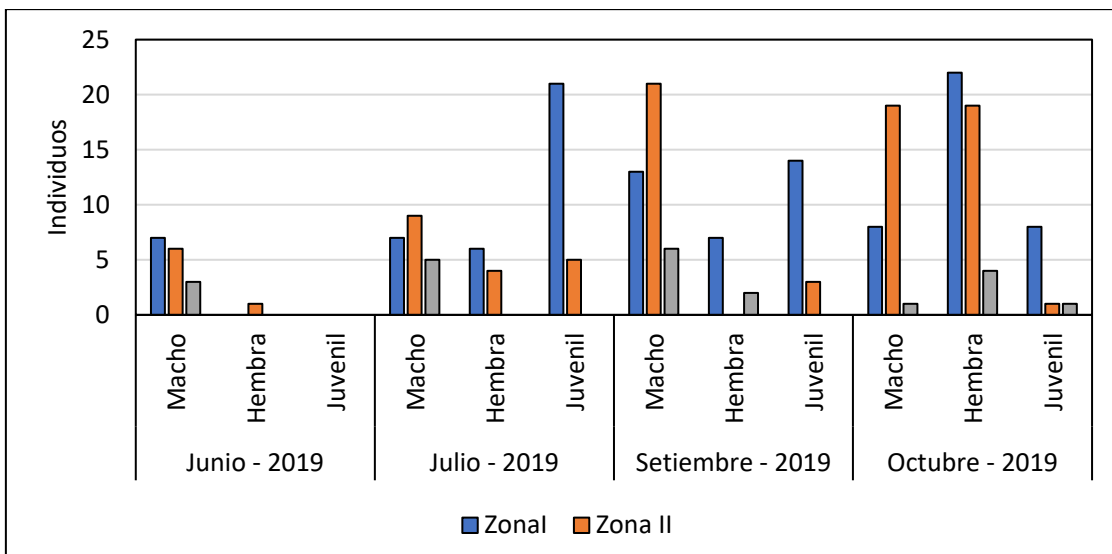


Figura 7.61. Distribución de abundancias de machos, hembras y juveniles por zonas y temporadas



7.3.5 Peces

En el muestreo realizado en el sector 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* sp. con 78 individuos representando el 80 % del total de individuos; además, en la zona II se registró la mayor cantidad con 86 individuos (Tabla 7.29). En la Figura 7.62 se observa que en la zona II se encontraron las 3 especies, siendo *Basilichthys* sp. la más dominante con 67 individuos; en la zona III se registraron solo 2 especies y la zona I no se colectaron individuos.

Tabla 7.29. 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</i> sp.	-	67	11	78	80
2	Siluriformes	Trichomycteridae	<i>Trichomycterus</i> sp.	-	15	-	15	15
3	Characiformes	Lebiasinidae	<i>Lebiasina bimaculata</i>	-	4	1	5	5
Total				-	86	12	98	100

(-): No registrado
Ab: Abundancia.

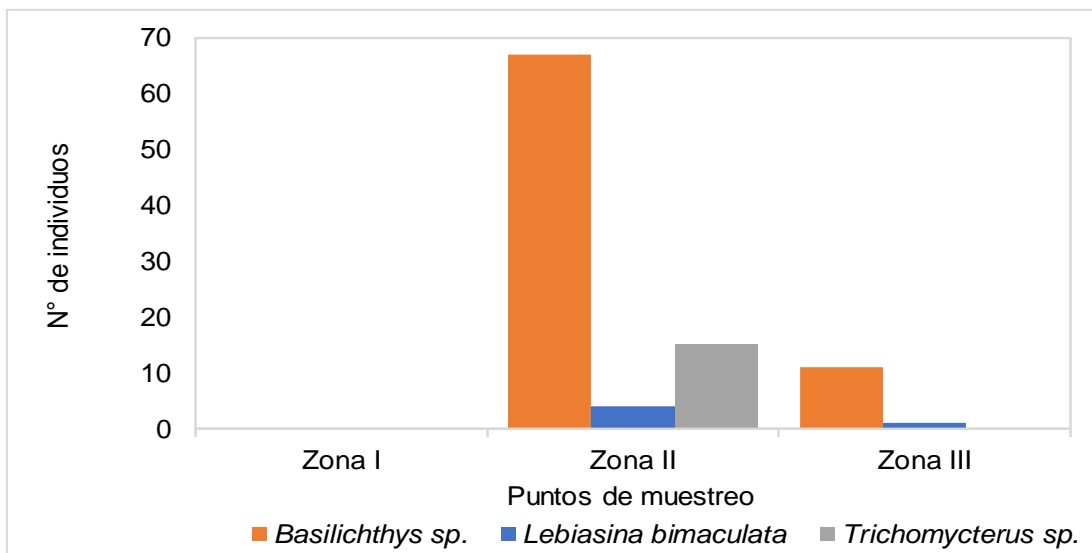


Figura 7.62. Abundancia de las especies por zonas en el río Pativilca

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 7.63).



Figura 7.63. Ejemplar de *Trichomycterus* sp.

En la Tabla 7.30 se presenta la frecuencia de *Trichomycterus* sp. en base a la longitud total (Lt) de los ejemplares capturados encontraron solo en la zona II. Chura-Cruz *et al.*, 2018 encontraron que la longitud promedio de primera madurez sexual para hembras se estimó en 12,1 cm de longitud total. De acuerdo con ello, se asocia que en la zona II, los ejemplares capturados representan una población de juveniles y adultos; observándose una distribución de 6,31 cm hasta 16,55 cm.

Tabla 7.30. Frecuencia de *Trichomycterus* sp. en las 3 zonas del río Pativilca

Tabla de frecuencias							
Zona	Linf	Lsup	mi	ni	Ni	fi	Fi
Zona II	6,31	9,72	8,02	3	3	0,2	0,2
	9,72	13,14	11,43	9	12	0,6	0,8
	13,14	16,55	14,84	3	15	0,2	1

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 7.64 se observa gráficamente que la distribución de tallas de *Trichomycterus* sp. fue mayor en el rango de 9,72,02 cm y 16,55 cm registrándose 9 individuos y reportándose un promedio de tallas de 11,43 cm.

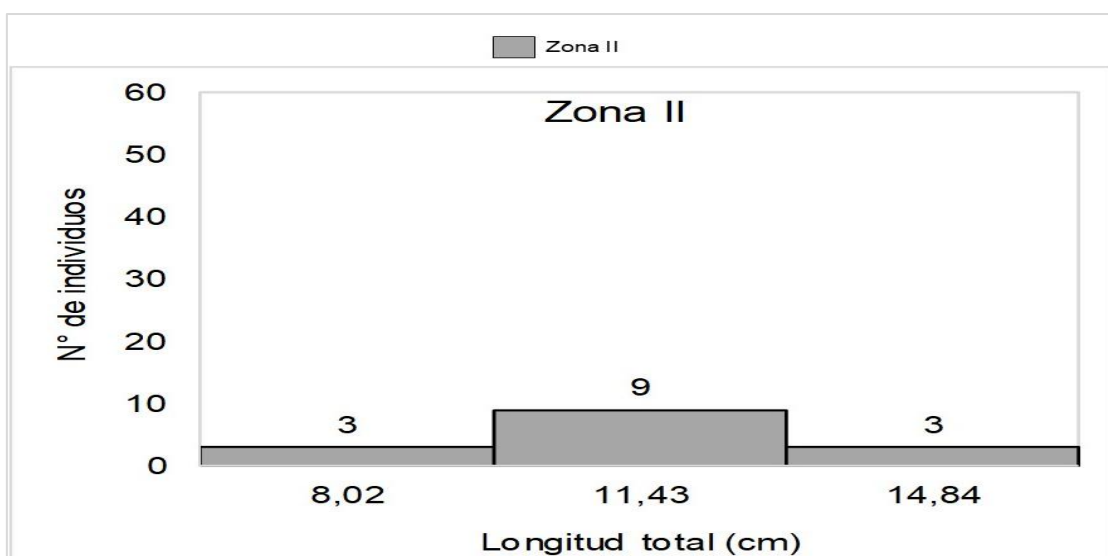


Figura 7.64. Histograma de tallas de *Trichomycterus* sp.

El crecimiento en longitud alcanzado por *Trichomycterus* sp. fue el siguiente: la longitud estándar osciló entre 5,25 – 14,17 cm y un promedio de 10,11 cm, la longitud total osciló entre 6,31 – 16,55 cm y una longitud total promedio de 11,65 cm. Con respecto al peso, este osciló entre 5,10 – 33,90 g y un peso promedio de 23,63 g.

- *Basilichthys* sp.

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, 2018 de poblaciones en el río Chillón, determinó que Ephemeroptera fue el orden de mayor importancia; mientras que, Díptera, 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 7.65)



Figura 7.65. Ejemplar de *Basilichthys* sp.

En la Tabla 7.31 se presenta la frecuencia de *Basilichthys* sp. en base a la longitud total (Lt) de los ejemplares capturados en cada una de las zonas evaluadas; sin embargo, solo se obtuvieron ejemplares en la zona III. En estudios realizados de otras especies, pero que corresponden al mismo género, reportaron que la talla de primera madurez alcanzó 24,44 cm de longitud total.

Los peces capturados correspondieron a la zona III y la distribución de tallas varió de 4,85 cm hasta 9,45 cm, por tanto, de acuerdo a lo encontrado en la bibliografía consultada, la población estudiada no habría alcanzado su primera madurez sexual, y estaría conformada por juveniles.

Tabla 7.31. Frecuencia de *Basilichthys* sp. en la zona III del río Pativilca

Tabla de frecuencias							
Zona	Linf	Lsup	mi	ni	Ni	fi	Fi
Zona III	4,85	7,15	6,00	2	2	0,18	0,18
	7,15	9,45	8,30	9	11	0,82	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 7.66 se observa que la distribución de tallas de *Basilichthys* sp. fue mayor en el rango de 7,15 cm y 9,45 cm registrándose 9 individuos y reportándose un promedio de tallas de 8,30 cm.

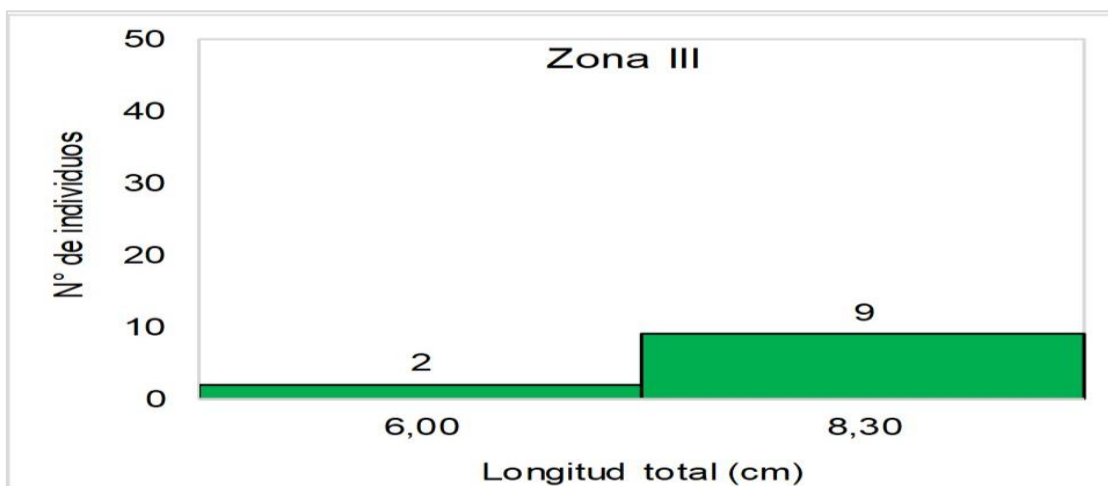


Figura 7.66. Histograma de tallas de *Basilichthys semotilus*

El crecimiento en longitud alcanzado por *Basilichthys* sp. fue el siguiente: la longitud estándar osciló entre 2,72 – 10,3 cm y un promedio de 7,04 cm, la longitud total osciló entre 3,30 – 11,25 cm y una longitud total promedio de 8,16 cm. Con respecto al peso, este osciló entre 0,50 – 16,6 g y un peso promedio de 7,27 g.

- *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, 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 7.67.



Figura 7.67. Ejemplar de *Lebiasina bimaculata*

En la Tabla 7.32 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 se registró en la zona II y III; sin embargo, en la zona III solo se encontró un individuo. La distribución de tallas en la zona II varió de 9,0 cm hasta 9,94 cm, por tanto, la población estaría conformada en su mayoría por juveniles.

**Tabla 7.32.** Tabla de frecuencia de *Lebiasina bimaculata* en la zona II y III del río Pativilca

Tabla de frecuencias							
N°	Linf	Lsup	mi	ni	Ni	fi	Fi
1	9,09	9,51	9,30	1	1	0,25	0,25
2	9,51	9,94	9,72	3	4	0,33	0,44

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

El crecimiento en longitud alcanzado por *Lebiasina bimaculata* fue el siguiente: la longitud estándar osciló entre 8,27 – 8,84 cm y un promedio de 8,59 cm, la longitud total osciló entre 9,09 – 10,77 cm y una longitud total promedio de 9,88 cm. Con respecto al peso, este osciló entre 11,80 – 22,80 g y un peso promedio de 15,44 g.

7.4 Caudal ecológico

Los datos de las unidades hidrogeomorfológicas (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 hidrogeomorfológicos 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) a excepción de junio 2019 (Figura 7.68). Una comparación de los valores promedios de temperatura en relación con el caudal encontrado (Figura 7.69) mostró mayores temperatura en la zona II, zona donde se registró los más bajos caudales (<2m³/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 7.33.

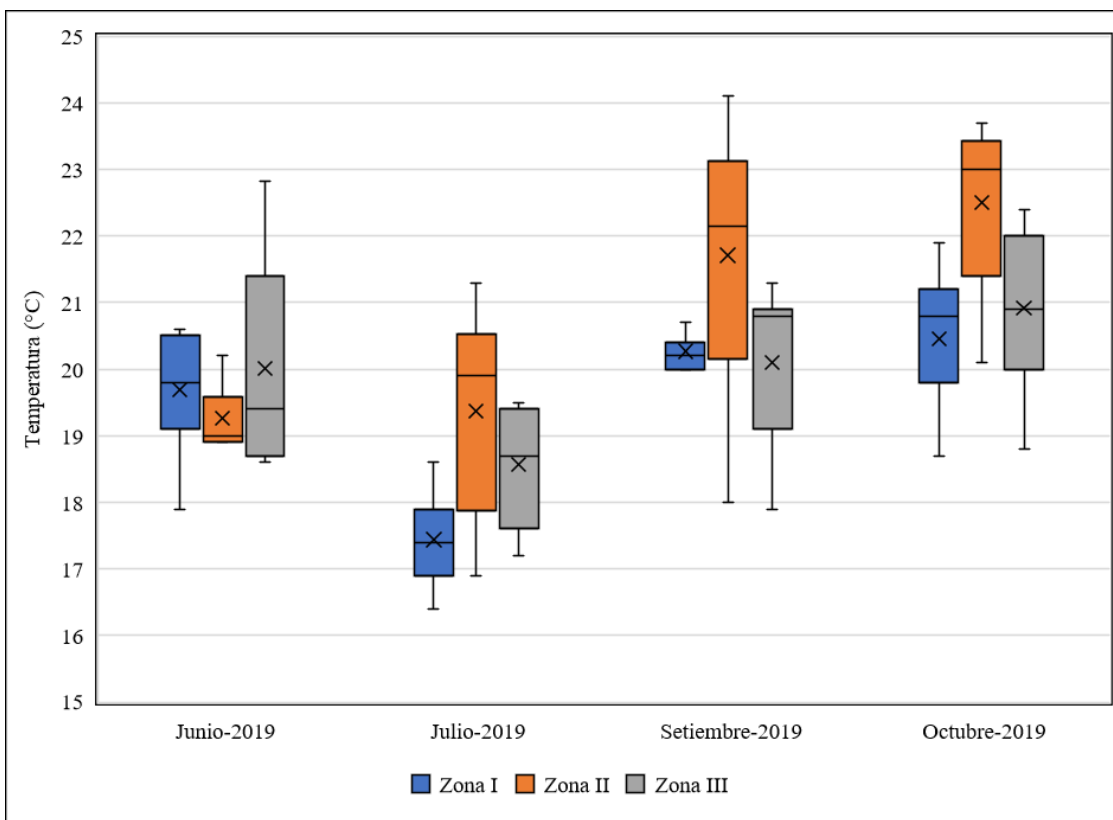


Figura 7.68. Diagrama de cajas para la temperatura por cada zona y temporada

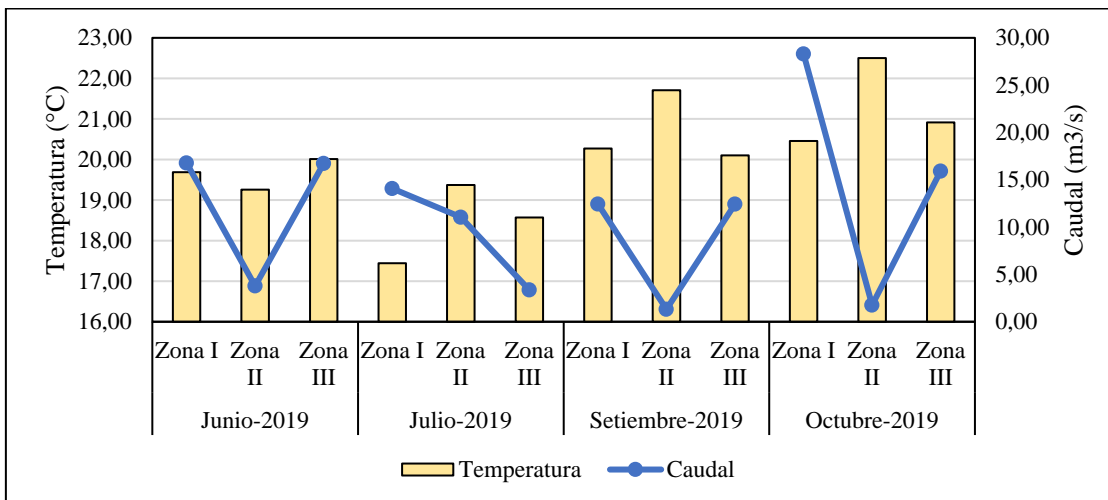


Figura 7.69. Temperatura vs gráfico lineal para el caudal por cada zona y temporada

Tabla 7.33. Valores promedios de caudal y temperatura

Temporada	Zona	Caudal (m³/s)	Temperatura (°C)
Junio	Zona I	16,77	19,69
	Zona II	3,78	19,26
	Zona III	16,72	20,01
Julio	Zona I	14,08	17,44
	Zona II	11,04	19,37
	Zona III	3,37	18,57
Setiembre	Zona I	12,43	20,27
	Zona II	1,32	21,71
	Zona III	12,43	20,1
Octubre	Zona I	28,29	20,46



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

Temporada	Zona	Caudal (m³/s)	Temperatura (°C)
	Zona II	1,76	22,5
	Zona III	15,91	20,91

Los valores de pH (Figura 7.70) 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 7,64 unidades de pH y 8,83 unidades de pH.

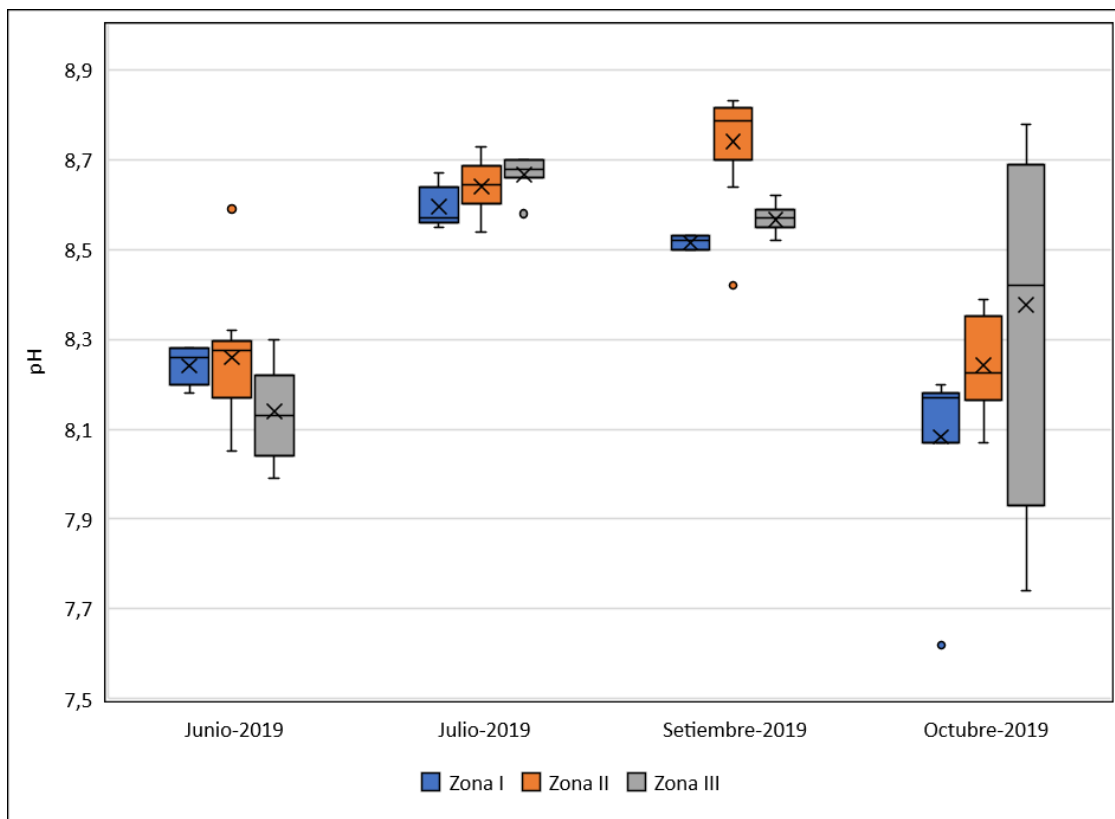


Figura 7.70. Diagrama cajas para el pH por zonas y temporadas

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 setiembre y octubre de 2019 (Figura 7.71).

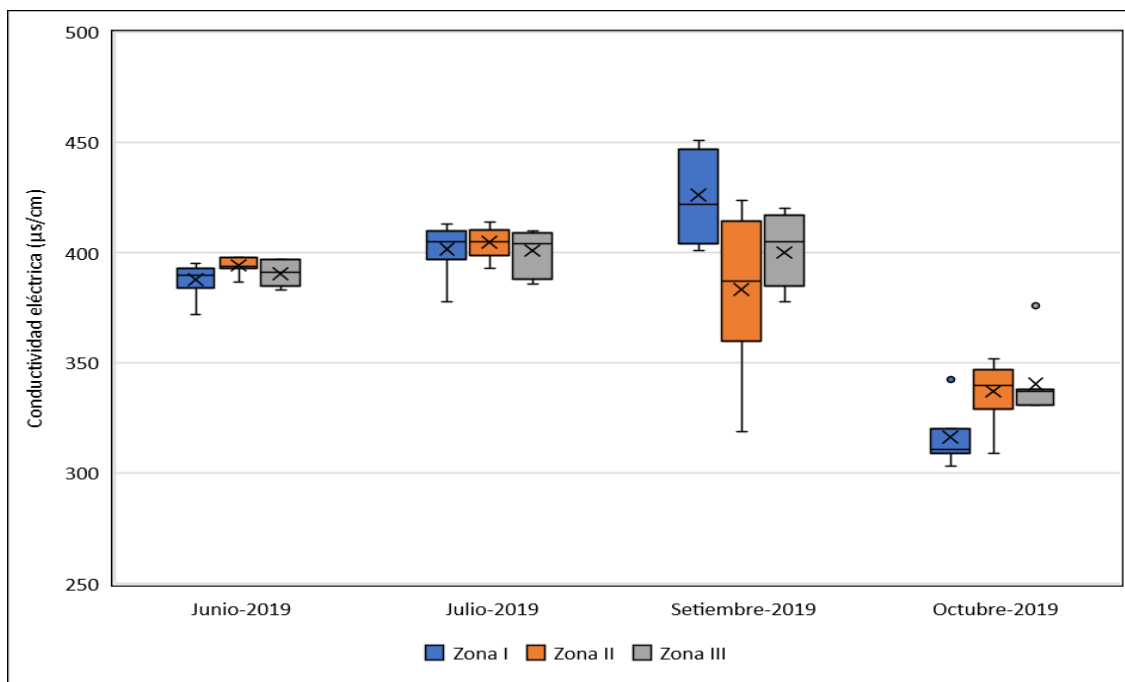


Figura 7.71. Diagrama de cajas para la conductividad eléctrica por zonas y temporadas

Los valores de oxígeno disuelto (Figura 7.72) mostraron en junio de 2019, medias similares en las 3 zonas. En julio de 2019 la zona I tuvo mayor rango de variación, con una media superior a la zona II. En setiembre de 2019, la media de la zona II fue mayor que la zona I y III. Finalmente, en octubre de 2019, el rango de oxígeno disuelto de las zonas I, II, III fue similar con una mayor rango de variación de la zona III. Los valores atípicos fueron valores inferiores a 7 mg/L, encontrados en la zona I en setiembre y octubre 2019.

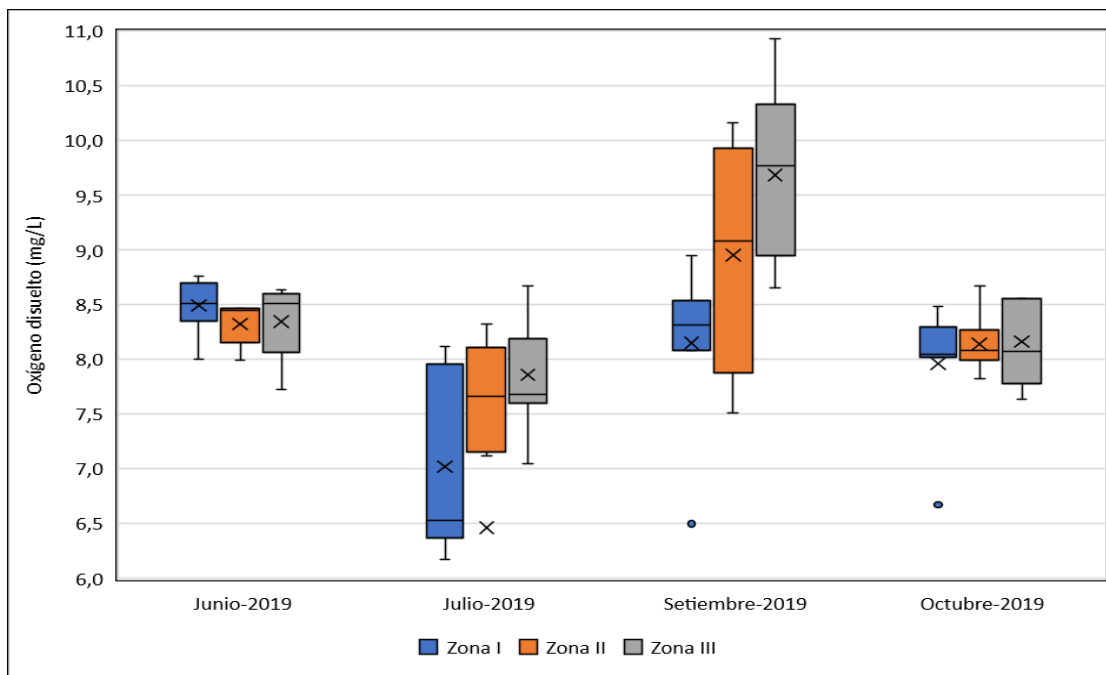


Figura 7.72. Diagrama de cajas para el oxígeno disuelto por zonas y temporadas

Los valores de alcalinidad (Figura 7.73) 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, y la zona III registro valores similares. En setiembre de 2019, las medias



tuvieron valores fueron similares. Finalmente, en octubre de 2019 presentó medias similares.

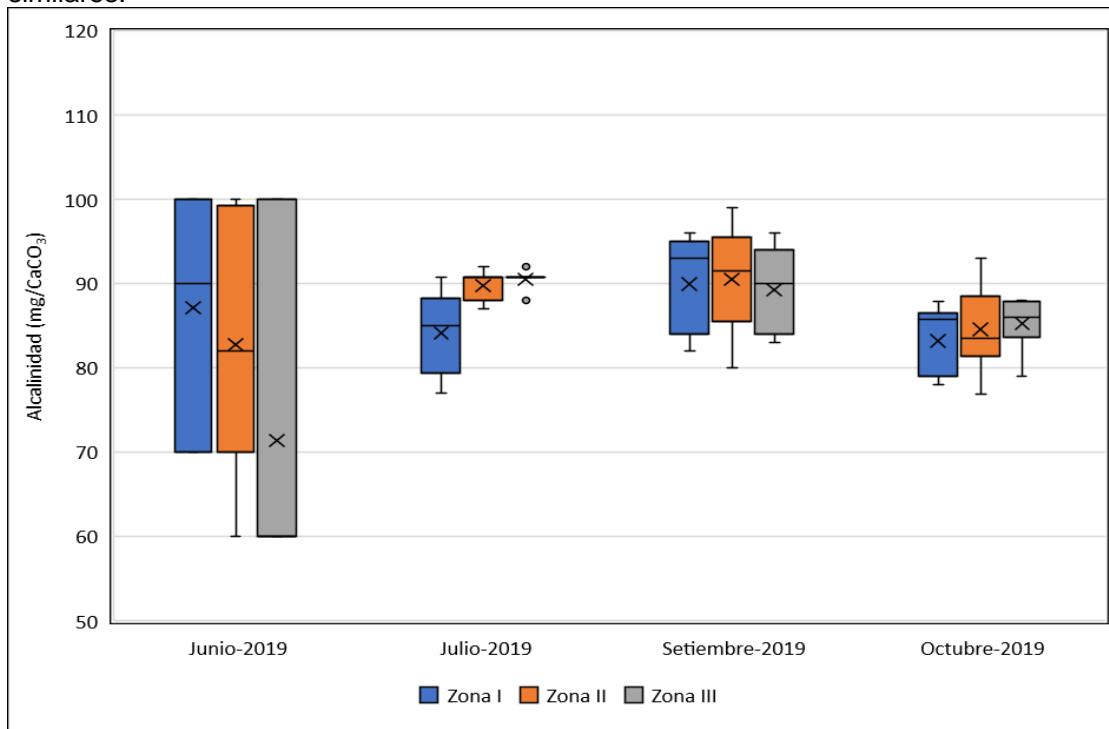


Figura 7.73. Diagrama de cajas de alcalinidad por zonas y temporadas

Los valores de STD (Figura 7.74) en setiembre 2019 la zona I tuvo mayor rango de variación y valores mayores a julio 2019. Para octubre los STD fueron similares en las 3 zonas.

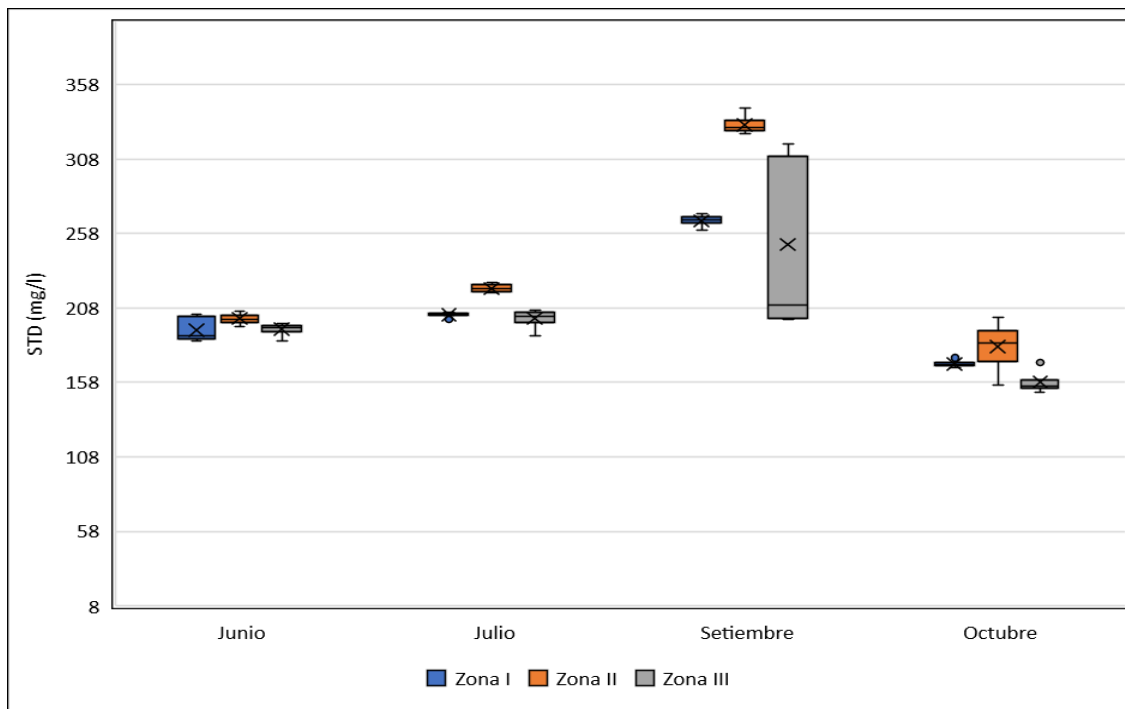


Figura 7.74. Diagrama de cajas para los sólidos totales disueltos (STD) por zonas y temporadas.



En junio de 2019, los sólidos totales suspendidos mostraron una tendencia similar entre las zonas, con una variabilidad muy baja, a excepción de octubre 2019 en la zona I donde se registró las más altas concentraciones respecto a la zona II y III y también respecto a los 4 meses evaluados (Figura 7.75).

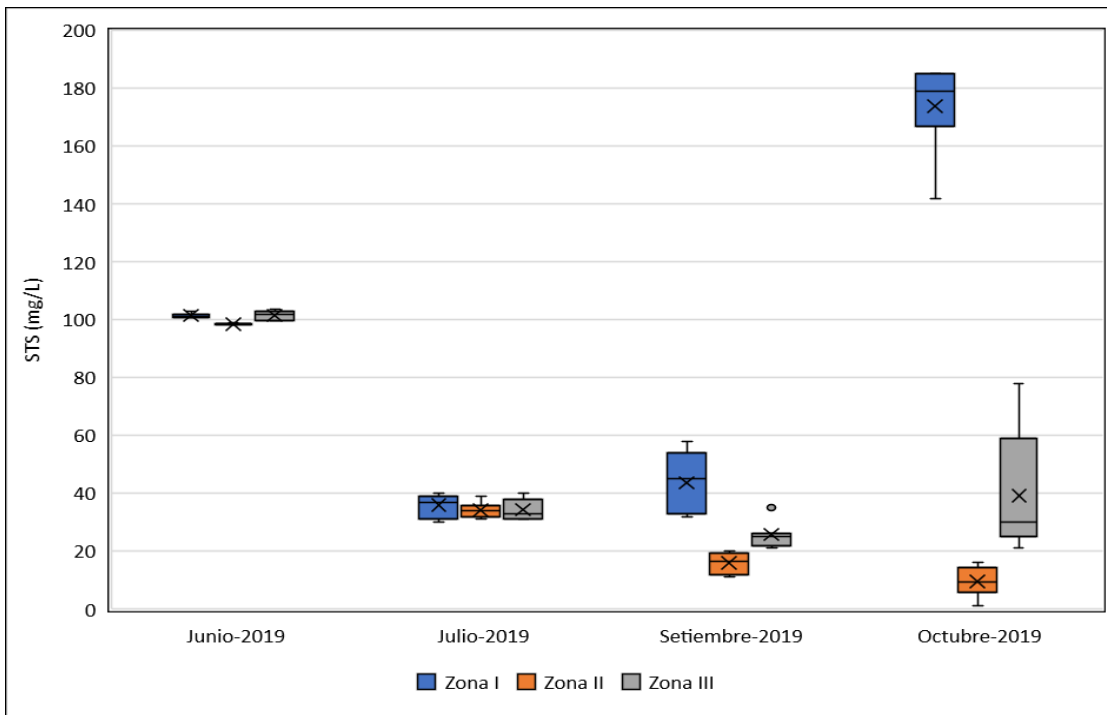


Figura 7.75. Diagrama de cajas para los sólidos totales suspendidos por zonas y temporadas

Los valores de turbidez (Figura 7.76) mostraron registros similares por zonas, con una concentración significativa en el mes de octubre 2019 en la zona I donde se registró la mayor media respecto a los 4 meses evaluados y 3 zonas.

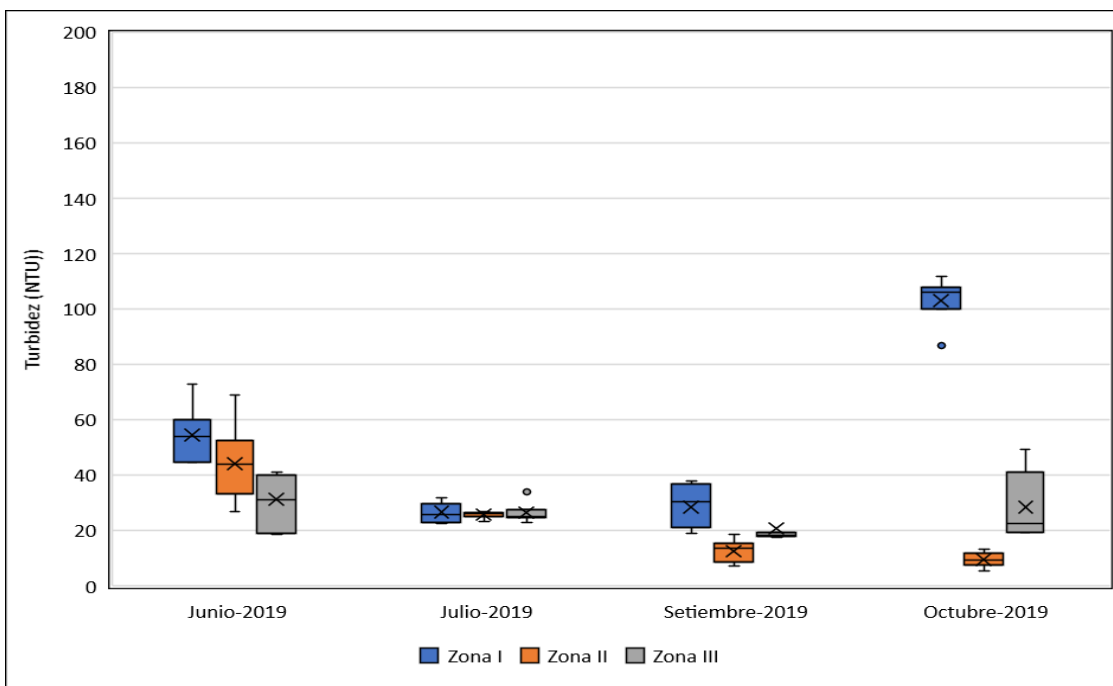


Figura 7.76. Diagrama de cajas para la turbidez por zonas y temporadas

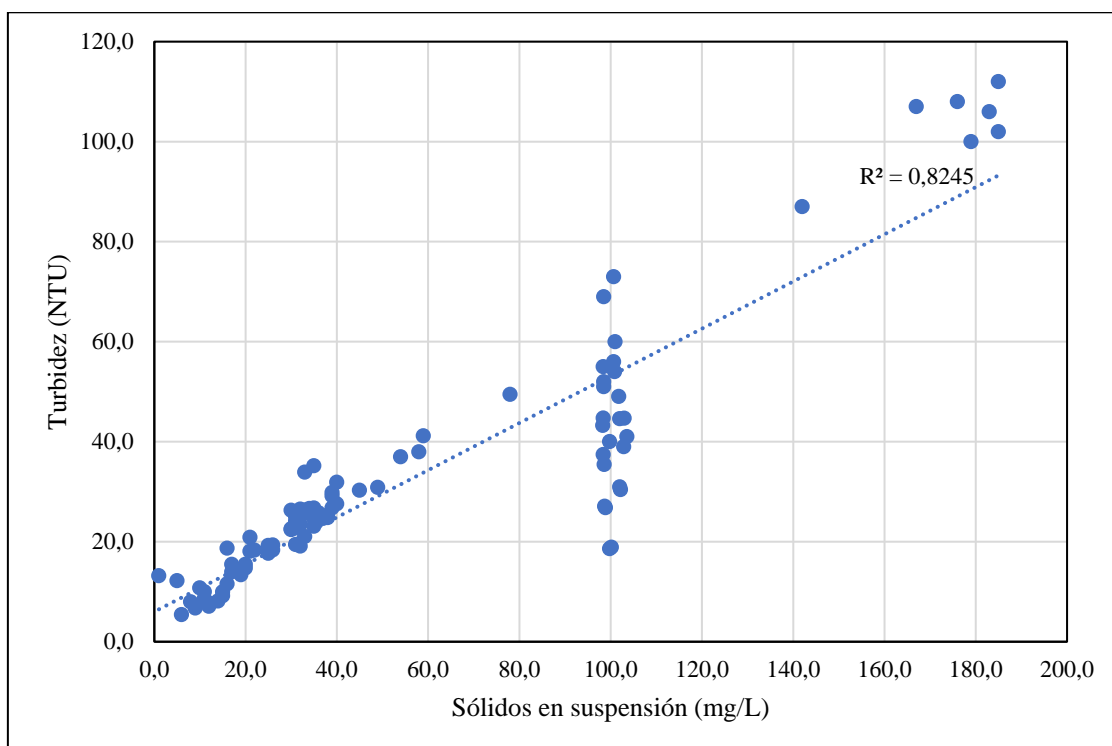


Figura 7.77. Regresión entre sólidos totales en suspensión y turbidez

En la Figura 7.83 se aprecia una buena correlación $R^2 = 0,82$ entre la turbidez y los sólidos totales en suspensión. Con valores más altos registrados en octubre 2019 en la zona I tal como se indicó en la Figura 7.81 y Figura 7.82.

7.4.2 Hidromorfología

a. Profundidad

La profundidad mostró registros bajos (<0,30 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 8.78).

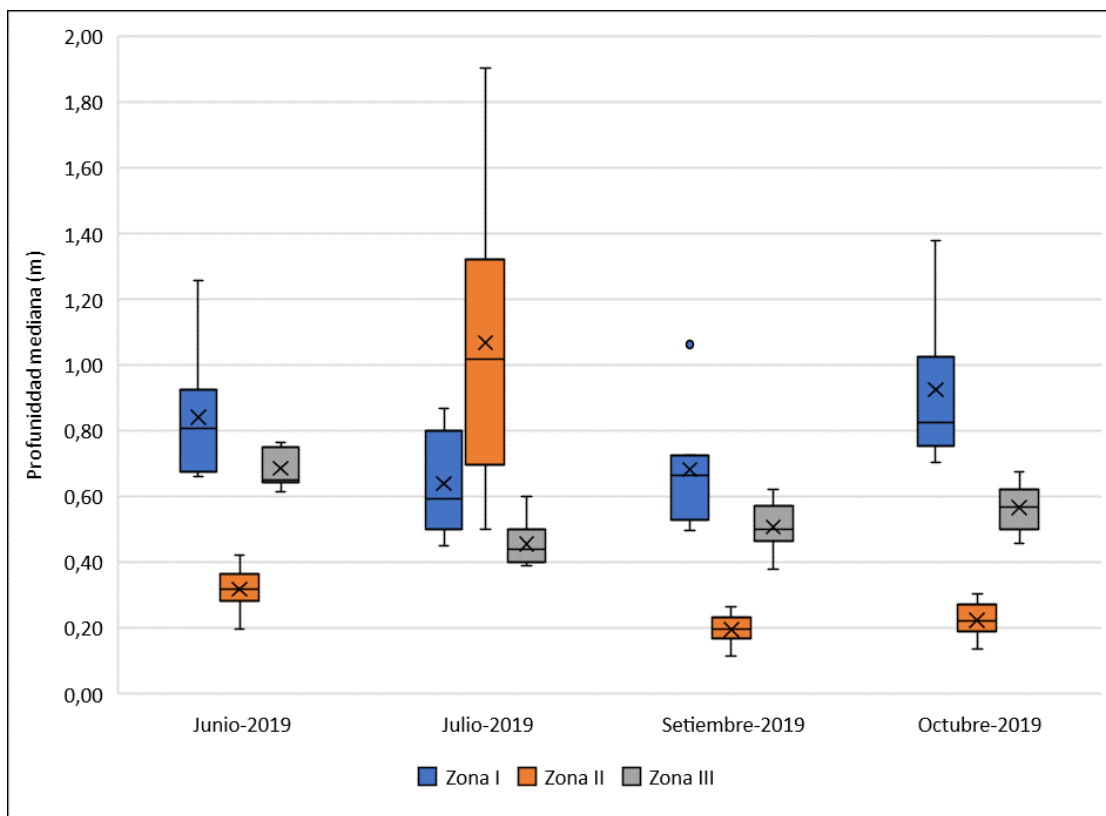


Figura 7.78. Diagrama de cajas para la mediana de la profundidad por zonas y temporadas

b. Ancho mojado promedio

Los anchos mojados promedios fueron mayores en la zona I respecto a la zona III y la zona II registro los anchos promedios más bajos en las 4 meses evaluados (Figura 7.79).

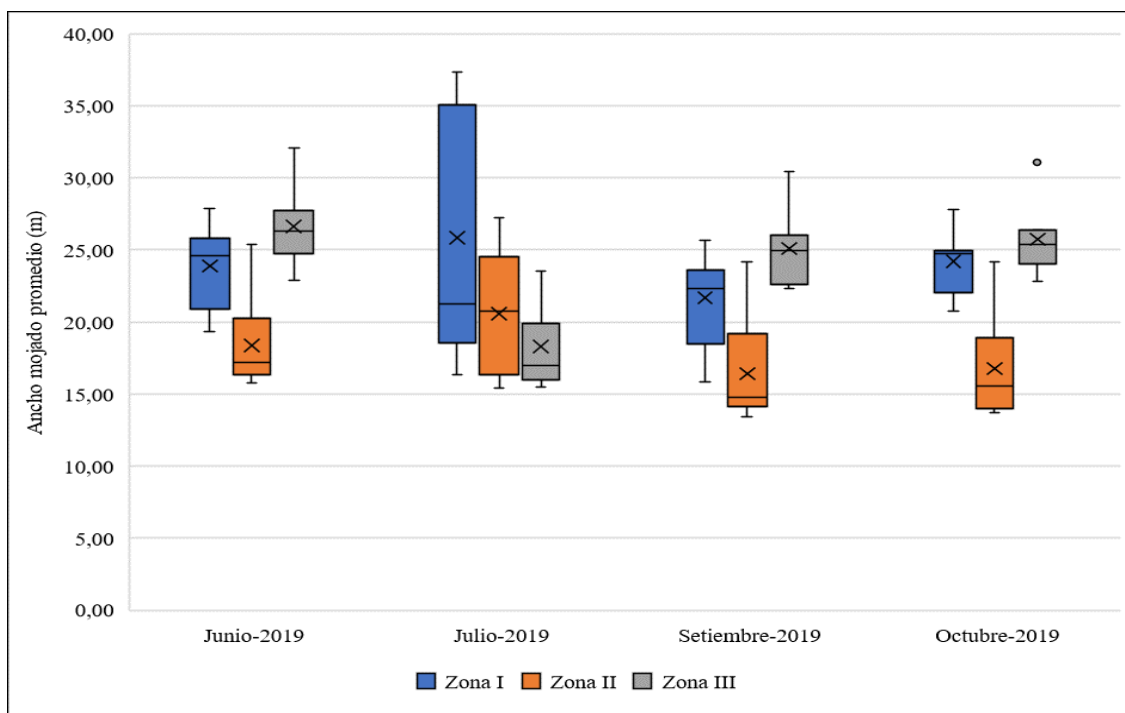


Figura 7.79. Diagrama de cajas para el ancho mojado promedio por zonas y temporadas

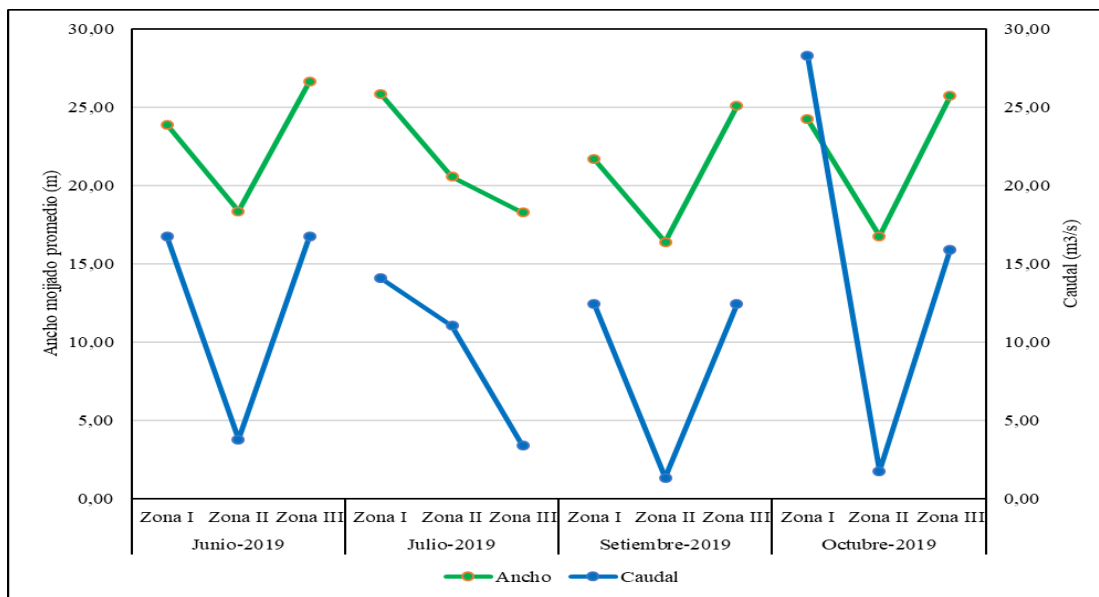


Figura 7.80. Comparación entre los valores de caudal y el ancho mojado promedio

La Figura 7.81 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 7.34.

c. Velocidad

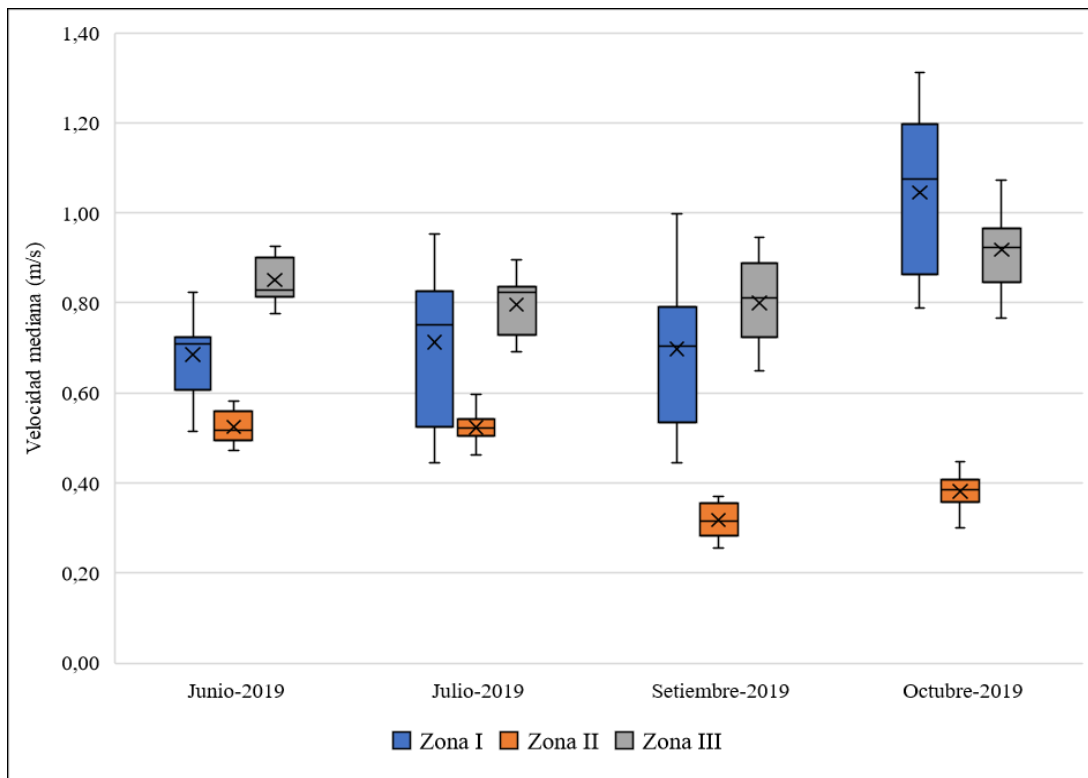


Figura 7.81. Diagrama de cajas de velocidad mediana por zonas y temporadas

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



7.81). Las zonas I y III presentaron una media por encima de 0,60 m/s. La Figura 7.82 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.

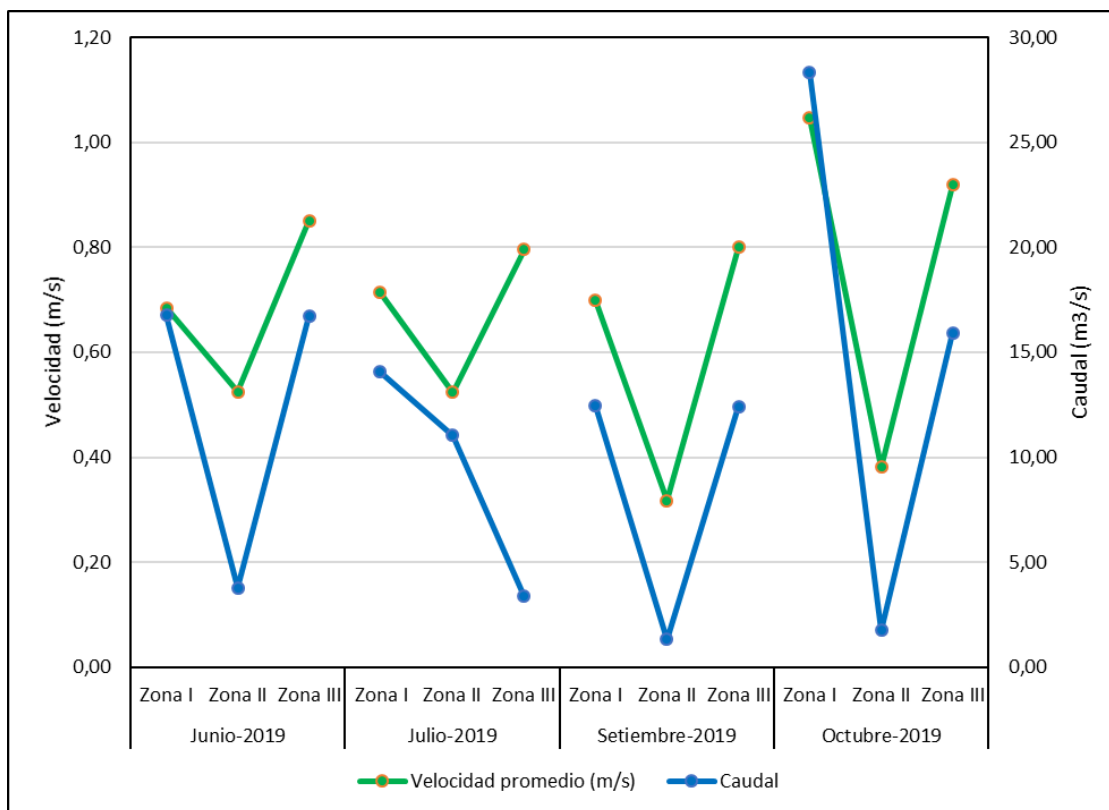


Figura 7.82. Comparación entre los valores de caudal y la velocidad

Tabla 7.34. 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	16,77	23,90	0,68
	Zona II	3,78	18,36	0,52
	Zona III	16,72	26,64	0,85
Julio 2019	Zona I	14,08	25,83	0,71
	Zona II	11,04	20,57	0,52
	Zona III	3,37	18,29	0,80
Setiembre 2019	Zona I	12,43	21,66	0,70
	Zona II	1,32	16,40	0,32
	Zona III	12,43	25,08	0,80
Octubre 2019	Zona I	28,29	24,20	1,04
	Zona II	1,76	16,76	0,38
	Zona III	15,91	25,73	0,92

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

d. Unidades hidromorfológicas

Las unidades hidrogeomorfológicas (UHM) encontradas en la zona I fueron predominantemente corriente > 50% y en menor proporción fueron encontrados: corriente



rápida, cascada, poza tras cascada, rápido medio. En la zona II, los UHM encontrados en mayor proporción fueron rápido medio y bajo. En la zona III, el UHM encontrado en mayor proporción fue similar a la zona I: corriente (mayor al 50%). La cantidad de UHM y el porcentaje representativo de cada uno por zona se encuentra en la Tabla 7.35.

Tabla 7.35. Cantidad y porcentaje de UHM encontrados por zona y por temporada

Temporada	Zona	UHM	Cantidad	Porcentaje (%)
Junio	zona I	Corriente	4	57,14
		Corriente rápida	2	28,57
		Cascada	1	14,29
	zona II	Rápido medio	8	80,00
		Rápido bajo	1	10,00
		Corriente	1	10,00
	zona III	Corriente rápida	1	14,29
		Corriente	6	85,71
Julio	zona I	Corriente	6	85,71
		Poza tras cascada	1	14,29
	zona II	Rápido medio	4	40,00
		Rápido bajo	6	60,00
	zona III	Corriente rápida	1	14,29
		Corriente	6	85,71
Setiembre	zona I	Corriente	4	57,14
		Rápido medio	1	14,29
		Poza tras cascada	2	28,57
	zona II	Tabla	1	10,00
		Rápido medio	4	40,00
		Rápido bajo	5	50,00
	zona III	Tabla	1	14,29
		Rápido medio	2	28,57
Corriente		4	57,14	
Octubre	zona I	Corriente	5	71,43
		Corriente rápida	1	14,29
		Poza tras cascada	1	14,29
	zona II	Tabla	1	10,00
		Rápido medio	5	50,00
		Rápido bajo	4	40,00
	zona III	Corriente	7	100,00
	50% o mas			

e. Granulometría

En junio de 2019, las 3 zonas tuvieron una mayor composición de canto rodado grava, seguida por canto rodado las distribución de área gruesa, media y fueron uniformes (Figura 7.83).

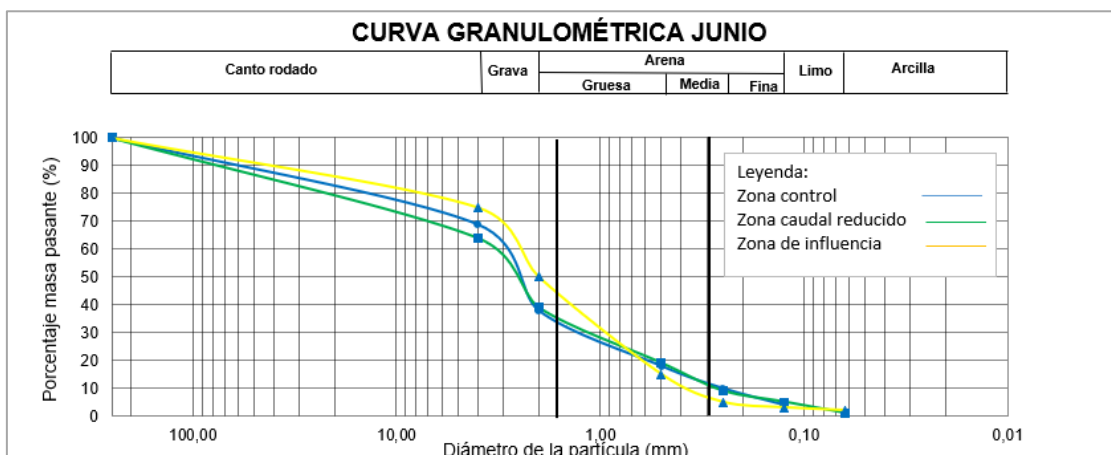


Figura 7.83. Composición granulométrica en junio 2019

En julio de 2019, las 3 zona tuvieron una distribución uniforme de canto rodado arena media y fina (Figura 7.84).

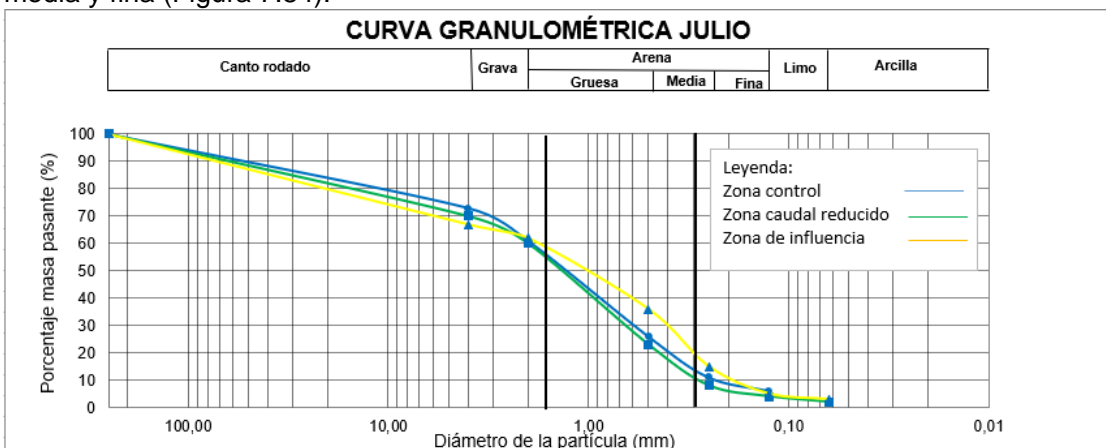


Figura 7.84. Composición granulométrica en julio 2019

En setiembre de 2019, la zona I tuvo una mayor composición de canto rodado grueso y arena gruesa y la zona I y III tuvo una composición más uniformes respecto a la zona I (Figura 7.91).

En octubre de 2019, las 3 zona se registraron acorazados ya que tuvieron mayor composición de canto rodado seguido de grava (Figura 7.85).

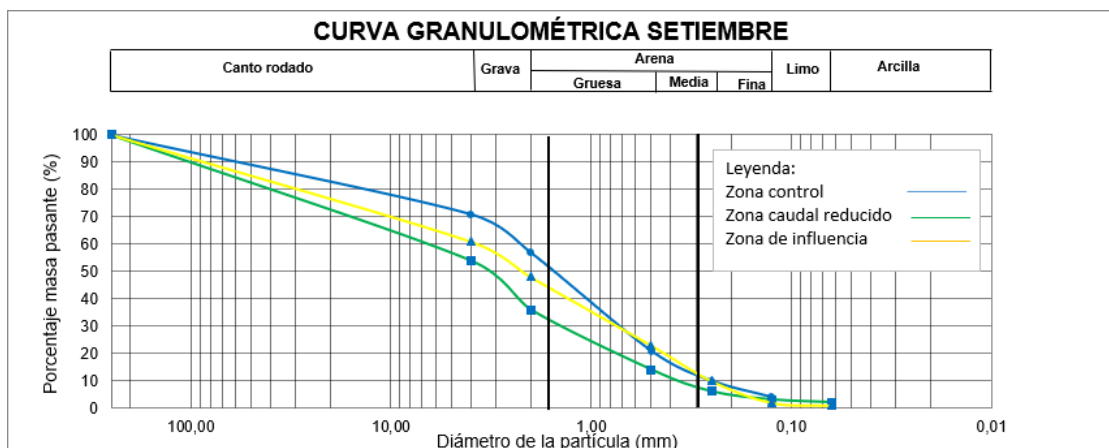


Figura 7.85. Composición granulométrica en setiembre 2019

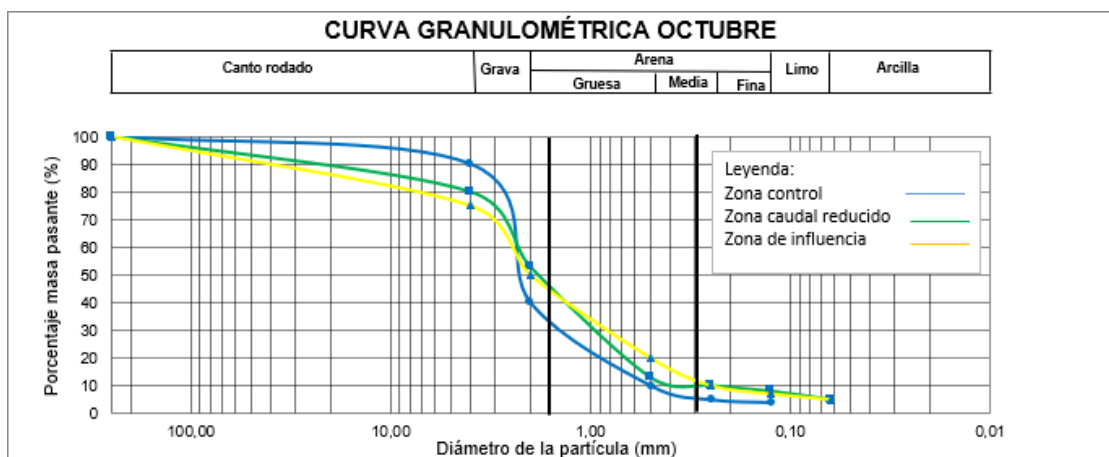


Figura 7.86. Composición granulométrica en octubre 2019

f. Incrustamiento

Los resultados del incrustamiento se encuentran en la Tabla 7.36 y Figura 7.87. Las zonas se caracterizaron por presentar diferente incrustamiento, en particular, la zona II con un incrustamiento de 25-50 % y 50-75 % en los meses de julio y octubre 2019. Para el mes de junio 2019, la presencia de incrustamiento <10 % estuvo presente en las zonas I y III, mientras que la zona II se caracterizó por un incrustamiento de 25-50 %. En julio y setiembre 2019, la zona II, se caracterizó por tener un mayor incrustamiento (10-25 %), presente en la zona I, II y III, sin embargo, la zona II volvió a registrar además un mayor incrustamiento de 25-50 %. En octubre, la presencia de un incrustamiento aún mayor estuvo presente en la zona II (50-75 %).

Tabla 7.36. Cantidad de cantos rodados encontrados de cada tipo de incrustamiento por zonas y temporadas

Temporada	Zonas	Incrustamiento (<10%)	Incrustamiento (10-25%)	Incrustamiento (26-50%)	Incrustamiento (50-75%)
Junio	Zona I	3	0	0	0
	Zona II	0	10	0	0
	Zona III	4	3	0	0
Julio	Zona I	0	7	0	0
	Zona II	0	7	3	0
	Zona III	3	4	0	0
Setiembre	Zona I	0	7	0	0
	Zona II	0	2	8	0
	Zona III	3	4	0	0



Table with 6 columns: Temporada, Zonas, Incrustamiento (<10%), Incrustamiento (10-25%), Incrustamiento (26-50%), Incrustamiento (50-75%). Rows for October in Zonas I, II, and III.

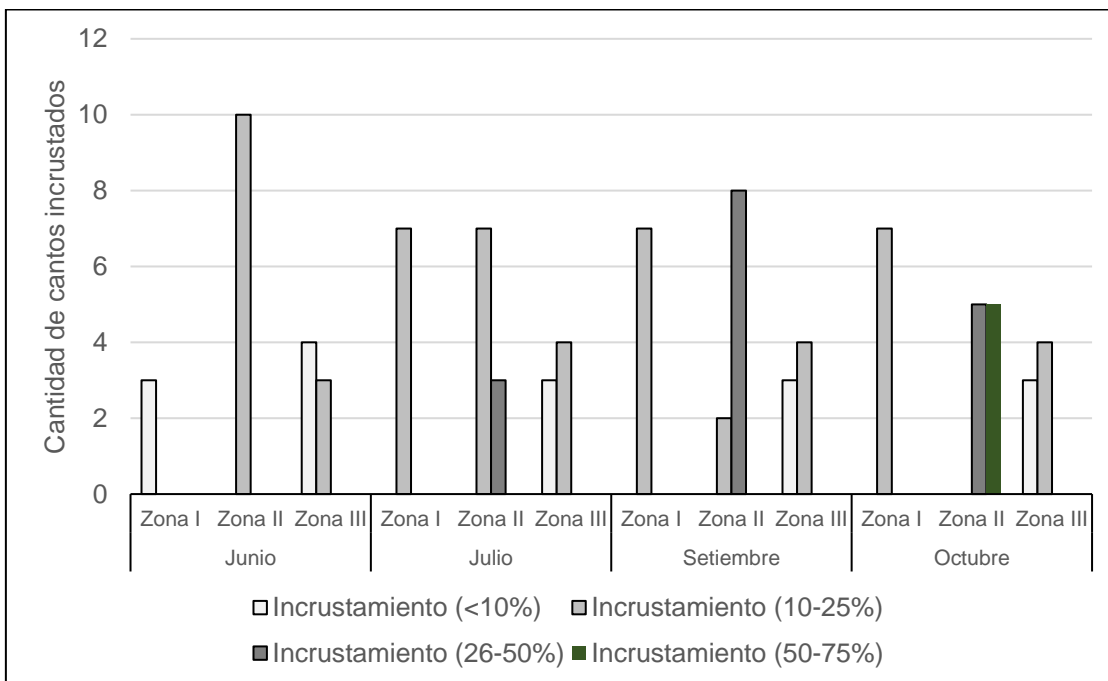


Figura 7.87. Registro de incrustamientos encontrados

7.4.3 Modelo de hábitat

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

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 I

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 por UHM, 21 fueron positivos a la presencia de esta especie y 7 fueron negativos.

La función de preferencia se definió como:

g(x)=-0,6587+3,2278(Shallow fast) + 0,4538(Phyhal) (7.1)

Donde:
Shallow fast: áreas someras y de flujo rápido
Phyhal: vegetación sumergida



Tabla 7.37. Modelo de hábitat para la presencia de *Cryphiops caementarius* en la zona I

Variable	Coefficiente Estimado	Odds ratios	Interpretación
Intercepto	-0,6587	-	-
<i>Shallow fast</i>	3,2278	25,2241029	0,80695
Tds	0,4538	1,57428311	0,11345
Área debajo de ROC (AUC)	0,881	-	-
Cutoff índice Max Kappa	0,68	-	-

(-): No aplica para esta variable

De acuerdo con la Tabla 7.37 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 7.88)

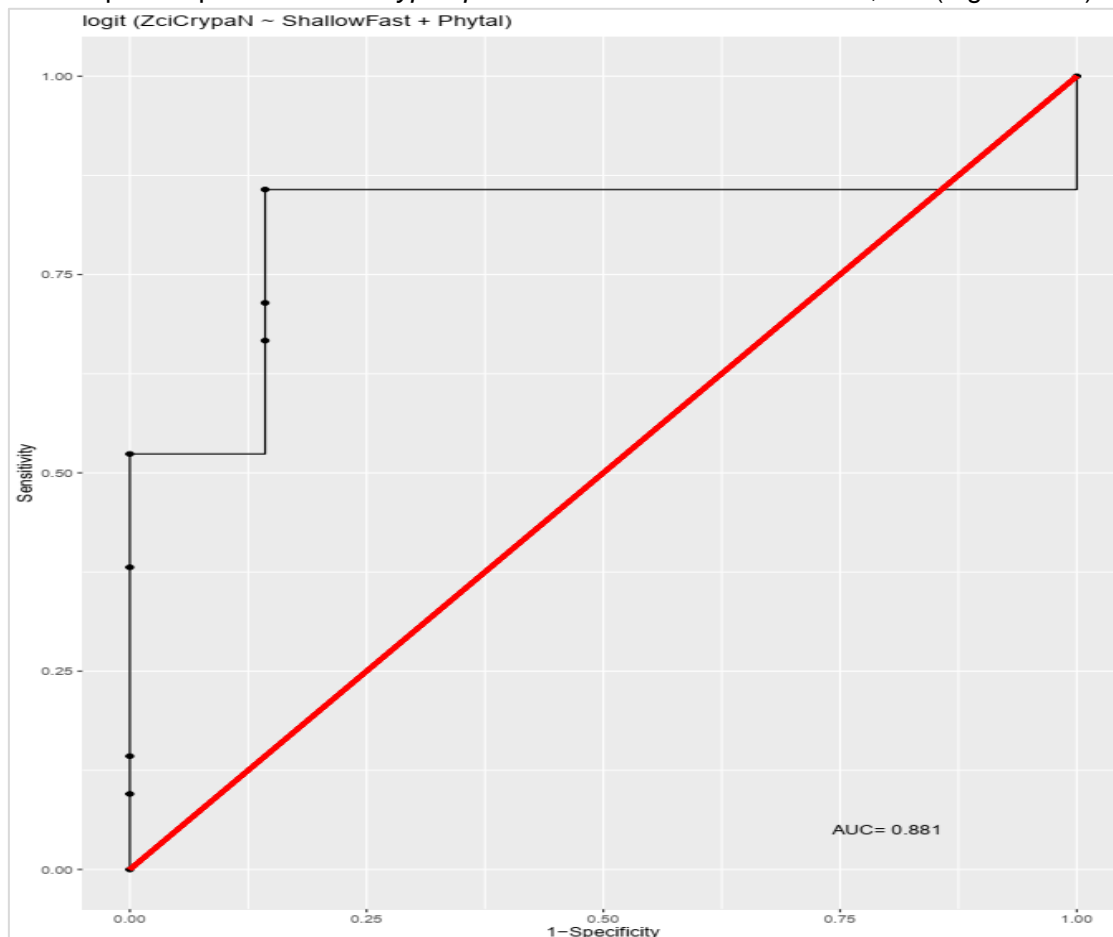


Figura 7.88. Curva ROC para el modelo de presencia de *Cryphiops caementarius* en la zona I

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 7.89). 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.

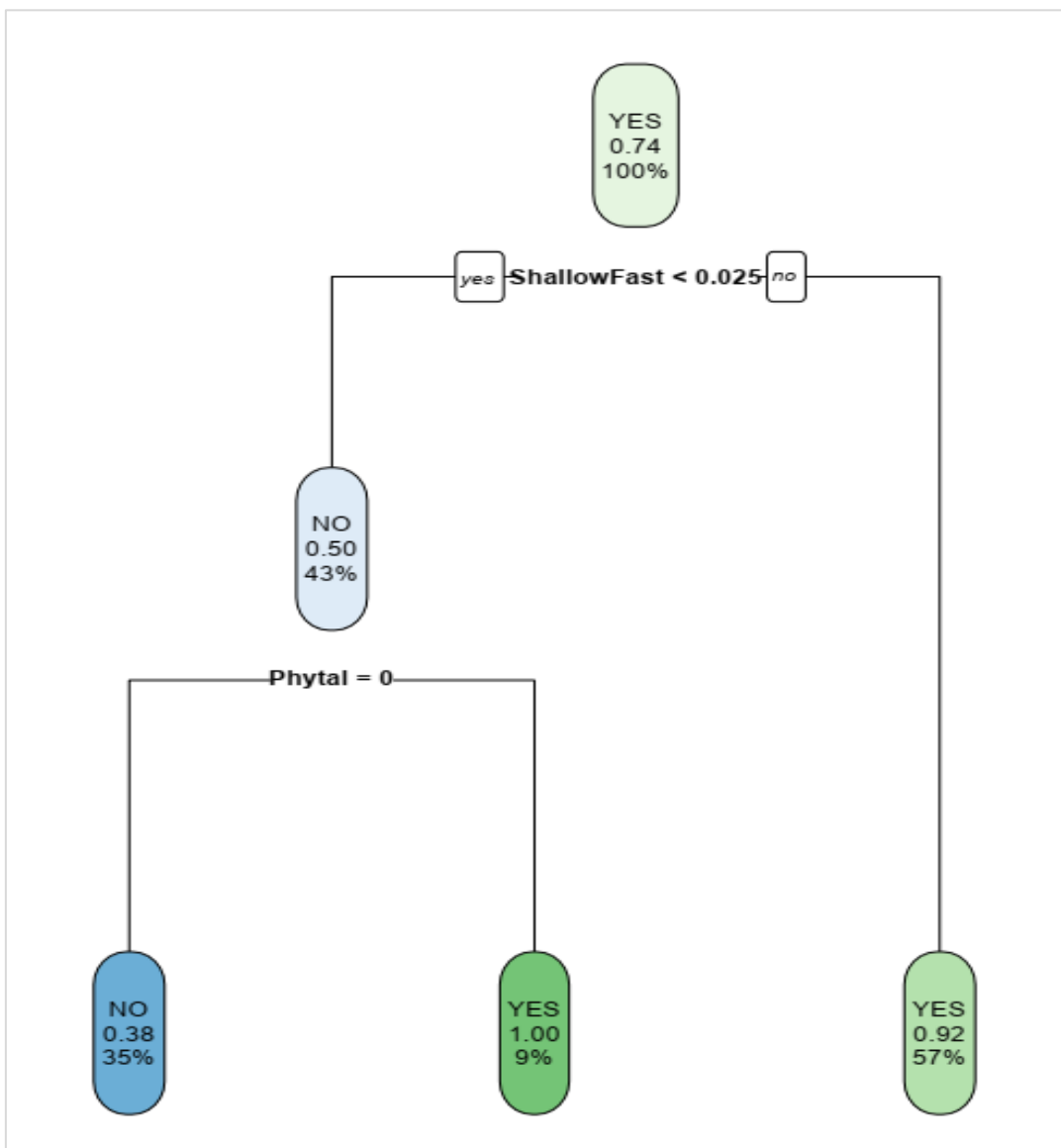


Figura 7.89. Árbol de decisión para el conjunto de variables de hábitat en la zona I

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 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 6,9% respecto al área total disponible. Este porcentaje disminuye conforme el caudal aumenta hasta 0 % en 16,77 m³/s.

Tabla 7.38. Habitabilidad para la presencia de *Cryphiops caementarius* en la zona I

Características	Junio 2019	Julio 2019	Setiembre 2019	Octubre 2019
% de hábitat usado	0	4,9	6,9	5,0



Características	Junio 2019	Julio 2019	Setiembre 2019	Octubre 2019
Proporción de hábitat usado	0,00	0,05	0,07	0,05
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 I

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:

$$g(x) = -2,13996 + 0,164654 \text{ (Shallow fast)} \quad (7.2)$$

Donde:

Shallow fast: áreas someras y rápidas

La interpretación del modelo (Tabla 7.39) refiere que incrementando el porcentaje de áreas someras y rápidas (shallow fast) 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 someras y de flujo rápido (shallow fast) 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 78,57% (Figura 7.90)

Tabla 7.39. Modelo de hábitat para la habitabilidad (presencia/ausencia) de *Cryphiops caementarius* en la zona I

Variable	Coficiente 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 índice Max Kappa	0,4927536	-	-

(-): No aplica para esta variable

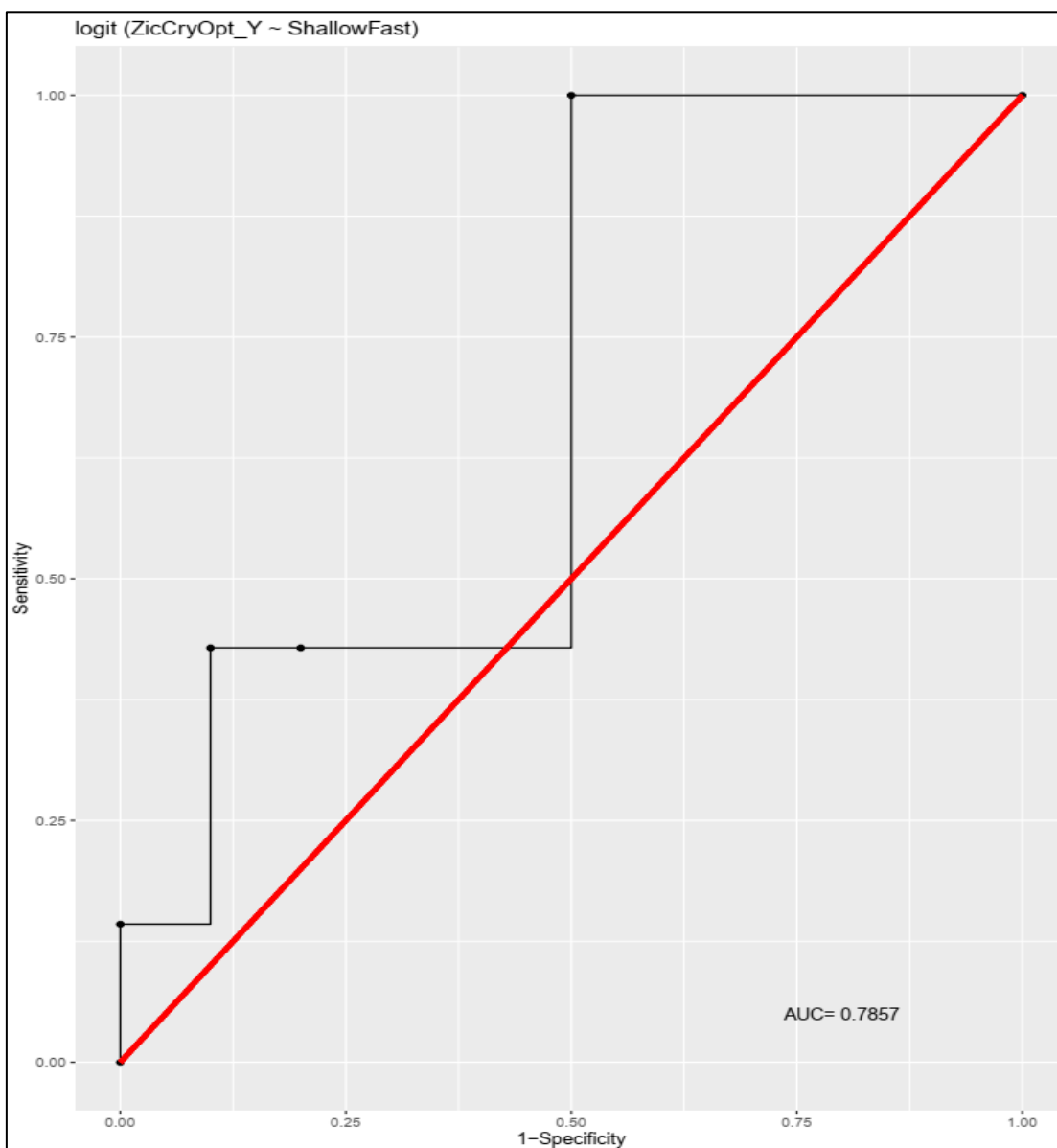


Figura 7.90. Curva ROC para el modelo de presencia de *Cryphiops caementarius* en la zona I (presencia/ausencia)

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 7.91). Estos resultados son compatibles con los obtenidos en el modelo de habitabilidad resultado de la regresión logística.

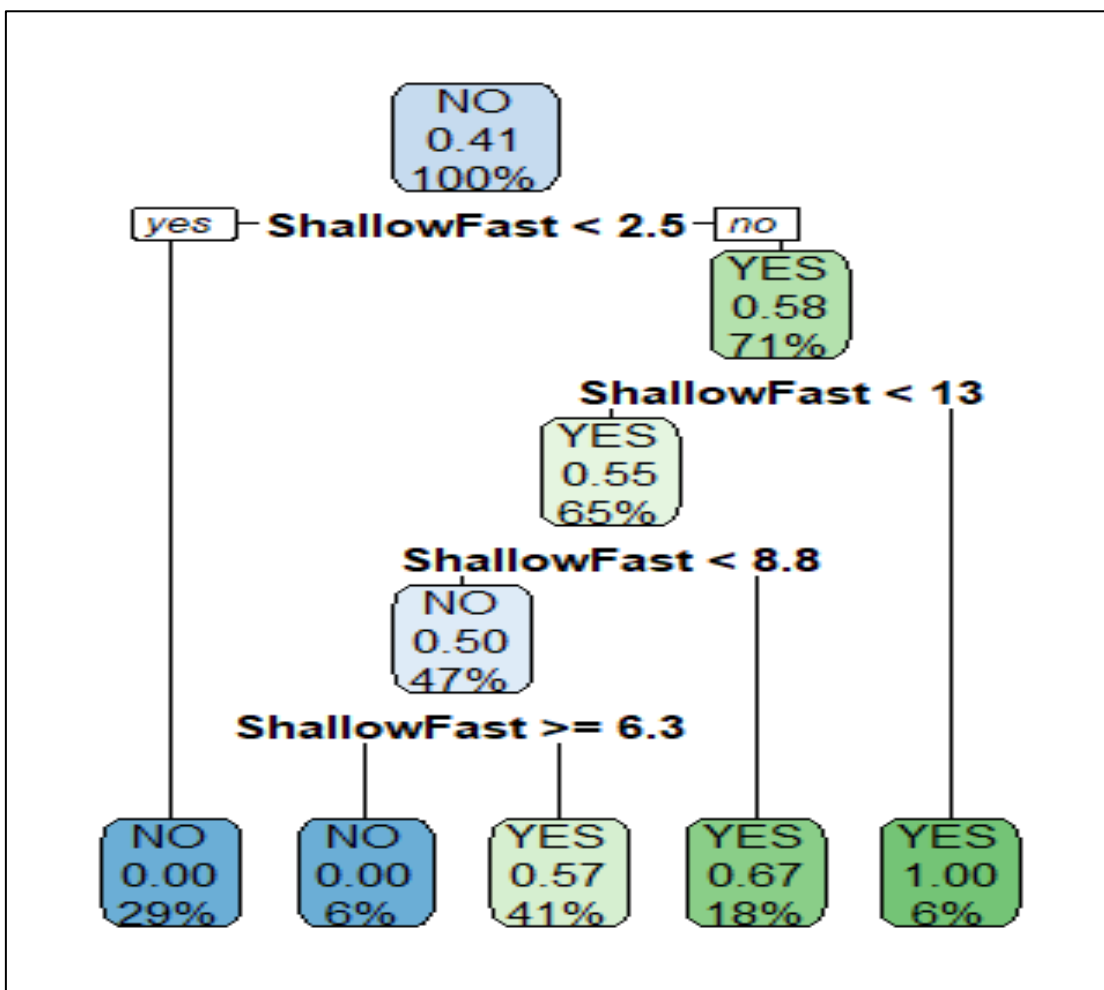


Figura 7.91. Árbol de decisión para el conjunto de variables de hábitat en la zona I

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 de habitabilidad óptima como el porcentaje del área total disponible para un determinado caudal. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 7.40. Así, a caudales de 12,43 m³/s el porcentaje del área habitable óptima para *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 7.40. Habitabilidad para la presencia de *Cryphiops caementarius* en la zona I

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 agregaron 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 7.92)

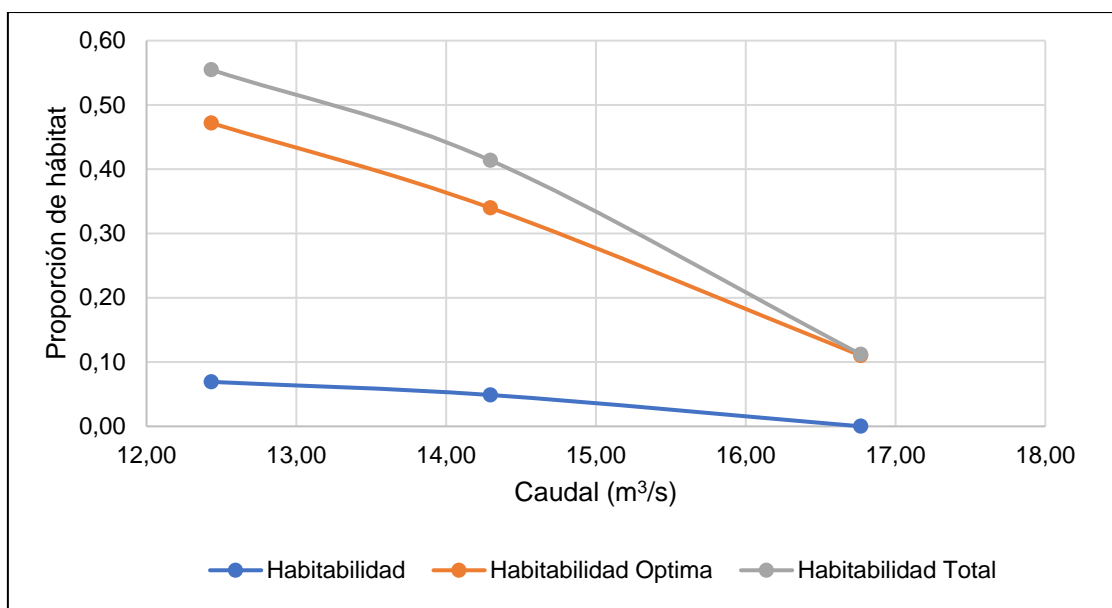


Figura 7.92. Habitabilidad, habitabilidad óptima y habitabilidad total de *Cryphiops caementarius* en relación con el área disponible en la zona I

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 7.93)

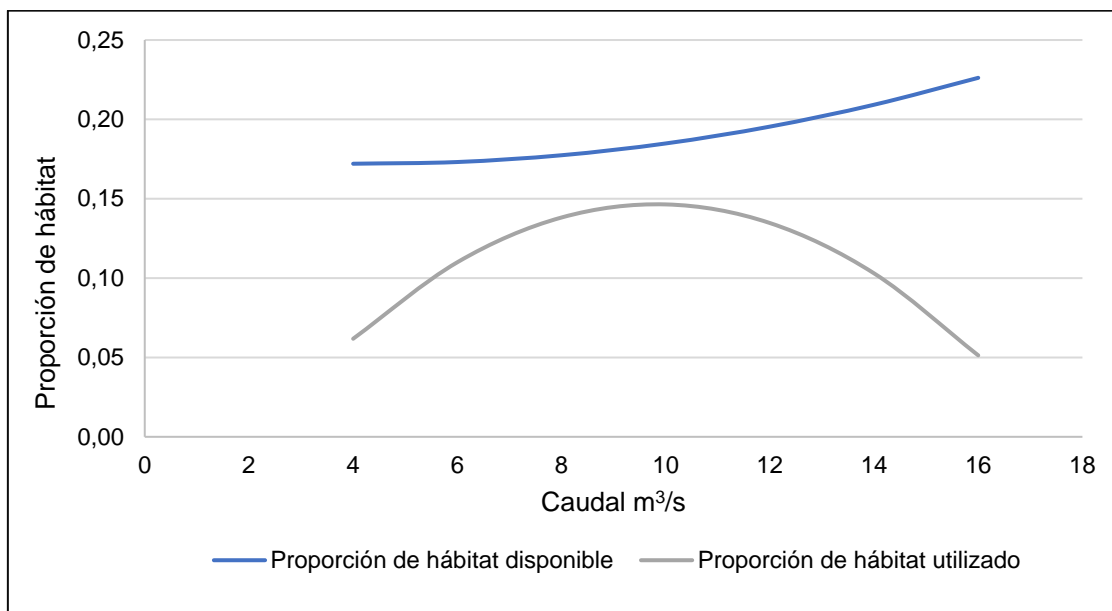


Figura 7.93. Habitabilidad, habitabilidad óptima y habitabilidad total de *Cryphiops caementarius* relación al área caudal en la zona I

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

Para esta zona 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 40 UHM evaluados (10 UHM en cada mes evaluado). Del total de registros de *Cryphiops caementarius* por UHM, 33 fueron positivos a la presencia de esta especie y 7 fueron negativos.

La función de preferencia se definió como:

$$g(x)=9,1955820+-4.2426734 (\text{Psammal})+3.7930368(\text{Phytal}) + -0,4379336 (\text{Ancho promedio}) \quad (7.3)$$

Donde:

Psammal: Sedimento de tipo arenoso

Phytal: Presencia de vegetación sumergida

Tabla 7.41. Modelo de hábitat para la habitabilidad (presencia/ausencia) de *Cryphiops caementarius* en la zona II

Variable	Coefficiente Estimado	Odds ratios	Interpretación
Intercepto	9,1955820	-	-
Psammal	-4,2426734	0,014369126	-1,06066835
Phytal	3.7930368	44,39100239	0,9482592
Ancho promedio	-0,4379336	0,645368634	-0,1094834
Área debajo de ROC (AUC)	0,9697	-	-
Cutoff índice Max Kappa	0,0074	-	-

(-): No aplica para esta variable

De acuerdo con la Tabla 7.41 cuando las partículas sedimentarias de arena son dominantes, se tiene 4,24 veces menos chances de que *Cryphiops caementarius* esté presente. Del mismo modo, existirán 3,79 más razón de oportunidades de presencia de *Cryphiops caementarius*, cuando haya dominancia de vegetación sumergida. A su vez, a cada metro que incrementa el ancho del cauce se tiene 0,43 veces menos chances que *C. caementarius* esté presente. Para un mejor entendimiento del modelo, conviene dividir los coeficientes entre 4. Así, en presencia de sedimento arenoso dominante disminuye en 106% la probabilidad de que *C. caementarius* esté presente. Asimismo, cuando la vegetación sumergida es dominante, se tiene 94% de probabilidades de que *Cryphiops caementarius* esté presente. Por otro lado, cuando se incrementa en 1 m el ancho del cauce, la probabilidad de presencia de *C. caementarius* disminuye en 10%. La probabilidad de clasificación efectiva del modelo para la presencia de *Cryphiops caementarius* fue de 96.97% (Figura 7.94)

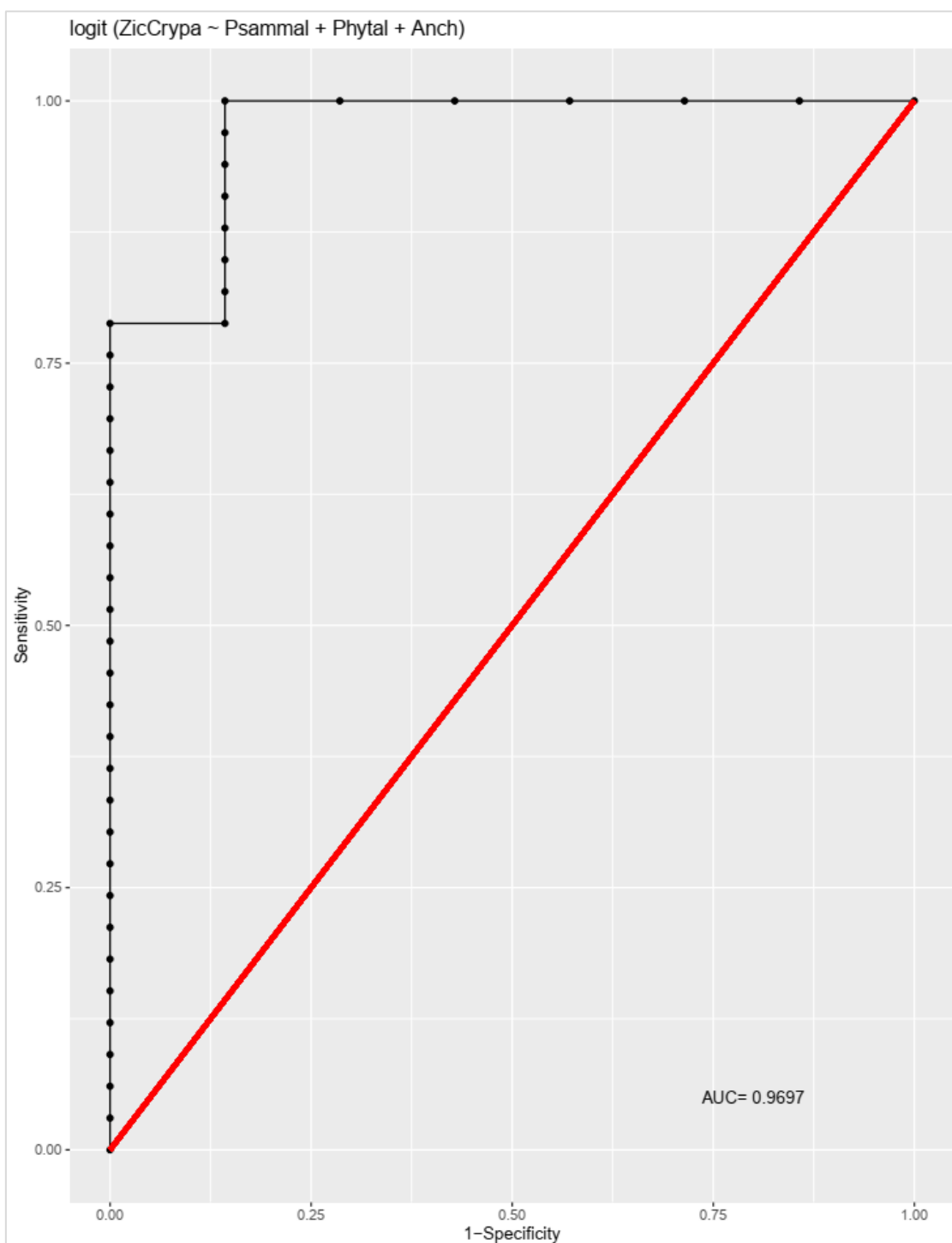


Figura 7.94. Curva ROC para el modelo de habitabilidad óptima de *Cryphiops caementarius* en la zona II

El árbol de decisión para la matriz de presencia /ausencia y variables de hábitat no mostró una clasificación efectiva para las variables consideradas

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 7.42. Así, a caudales de 1,32 m³/s el porcentaje del



área habitable por *Cryphiops caementarius* fue de 21% respecto al área total disponible. Este porcentaje disminuye conforme el caudal aumenta hasta 15% en 3,78 m³/s.

Tabla 7.42. Habitabilidad para la presencia de *Cryphiops caementarius* en la zona II

Características	Junio 2019	Julio 2019	Setiembre 2019	Octubre 2019
% de hábitat usado	15	19	21	21
Proporción de hábitat usado	0,15	0,19	0,21	0,21
Caudal (m ³ /s)	3,78	3,39	1,32	1,76
Área total (m ²)	1719,005	1702,505	1445,816	1505,227
% Área total	1,00	0,99	0,841	0,875

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 33 de los 40 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 25 fueron negativos.

La función de preferencia se definió como:

$$g(x) = -8,0185184 + 0,159077(\text{Shallowslow}) - 2,1865062(\text{Mesolithal}) + 0,4657684(\text{Ancho}) + 4,5200837(\text{Phytal}) \quad (7.3)$$

Donde:

Mesolithal: Partículas sedimentarias de 6-20 cm

Shallow slow: Áreas someras y lentas.

Phytal: Vegetación sumergida

Tabla 7.43. Habitabilidad óptima (abundante – no abundante) para la *Cryphiops caementarius* en la zona II

Variable	Coefficiente Estimado	Razón de oportunidades	Interpretación
Intercepto	-8,0185184	-	-
Shallow Slow	-0,159077	0,852930681	-0,03976925
Mesolithal	-2,1865062	0,112308447	-0,54662655
Ancho promedio	0,4657684	1,93237963	0,1164421
Phytal	4,5200837	91,84328494	1,13002093
Área debajo de ROC (AUC)	0,87	-	-
Cutoff índice Max Kappa	-0.2353	-	-

(-): No aplica para esta variable

De acuerdo con la Tabla 7.43 con el incremento porcentual de áreas someras y lentas se tiene 0,85 veces menos razón de oportunidades que *Cryphiops caementarius* sea abundante. Por otro, cuando las partículas sedimentarias de tipo mesolithal (cantos rodados de 6-20 cm) fueron dominantes y disminuyó en 0,11 veces las chances de que *Cryphiops caementarius* sea abundante. Asimismo, aumentando en 1 m el ancho se tuvo 1,93 veces más chances que *Cryphiops caementarius* sea abundante. Finalmente, cuando hay dominancia de vegetación sumergida, se tiene 91 veces más chances que *Cryphiops caementarius* sea abundante. Para un mejor entendimiento del modelo, conviene dividir los coeficientes entre 4. Así, cuando se incrementa el porcentaje de áreas rasas y lentas se tuvo 3,9% menos probabilidad de que *Cryphiops caementarius* sea abundante. También cuando las partículas sedimentarias de 2-6 cm (mesolithal) son dominantes, disminuyó en 54% la probabilidad que *Cryphiops caementarius* sea abundante. Por otro lado, cuando incrementa en 1 m el ancho mojado, se tiene una probabilidad de 11,6% de que *Cryphiops*

caementarius sea abundante, en tanto que cuando la vegetación sumergida es dominante, se tuvo 113% de probabilidades que *Cryphiops caementarius* sea abundante. La probabilidad de clasificación efectiva del modelo para la abundancia de *Cryphiops caementarius* fue de 96.97% (Figura 7.95)

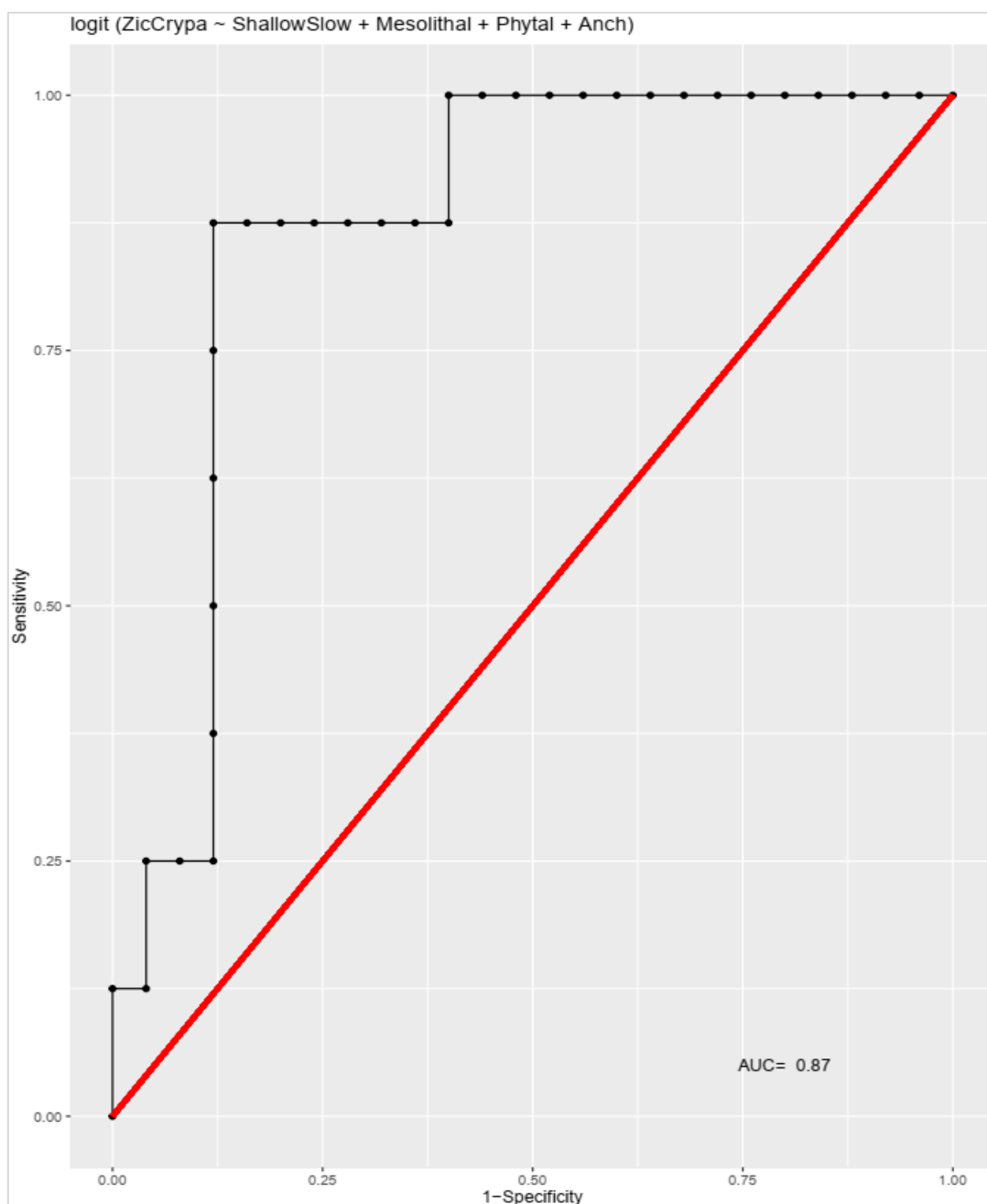


Figura 7.95. Curva ROC para el modelo de habitabilidad óptima de *Cryphiops caementarius* en la zona II

El árbol de decisión para la matriz de presencia /ausencia y variables de hábitat no mostró una clasificación efectiva para las variables consideradas.

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 7.44. Así, a caudales de 1,76 m³/s el porcentaje del área habitable óptima para *Cryphiops caementarius* fue de 10% respecto al área total disponible. Este porcentaje disminuye conforme el caudal aumenta hasta 5% en 3,78 m³/s. (Tabla 7.44).

Tabla 7.44. Habitabilidad (presencia/ausencia) de *Cryphiops caementarius* en la zona II

Características	Junio 2019	Julio 2019	Setiembre 2019	Octubre 2019
% de hábitat usado	5	8	4	10
Proporción de hábitat usado	0,05	0,08	0,04	0,10
Caudal (m ³ /s)	3,78	3,39	1,32	1,76
Área total (m ²)	1719,005	1702,505	1445,816	1505,227
% Área total	1,00	0,99	0,841	0,875

Los datos de habitabilidad y habitabilidad óptima se agregaron para la obtención de la habitabilidad total. Así, se obtuvo que la habitabilidad total se maximiza a caudales de 1,73 m³/s, disminuyendo en caudales de 3,78 m³/s (Figura 7.96)

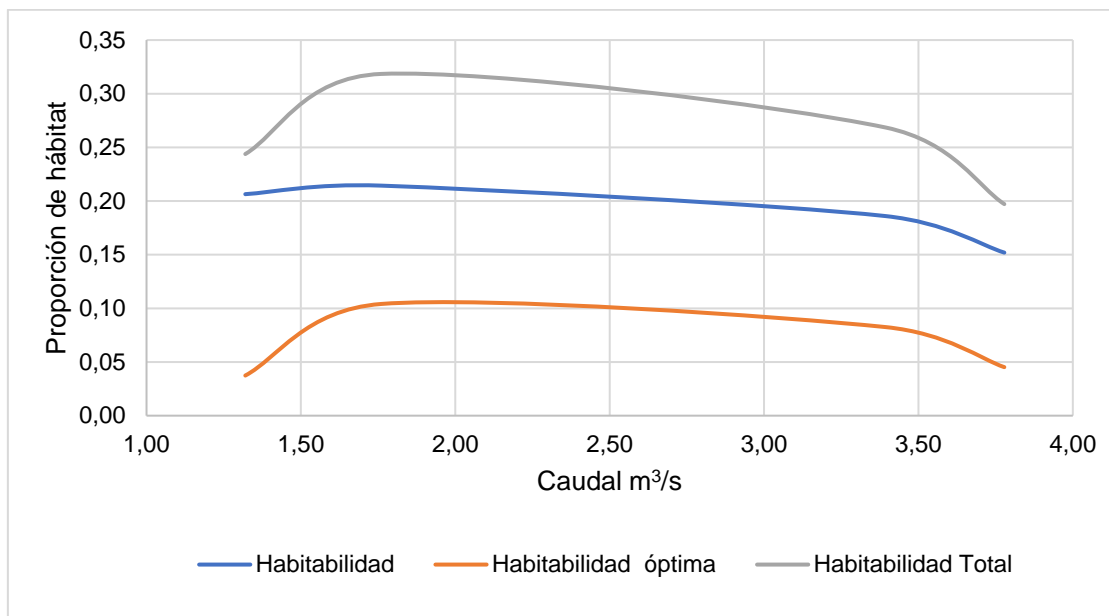


Figura 7.96. Habitabilidad, habitabilidad óptima y habitabilidad total de *Cryphiops caementarius* en la zona II

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 entre 1,73 y 2 m³/s reduciéndose drásticamente en caudales en torno a 4 m³/s y menores a 1,5 m³/s (Figura 7.97).

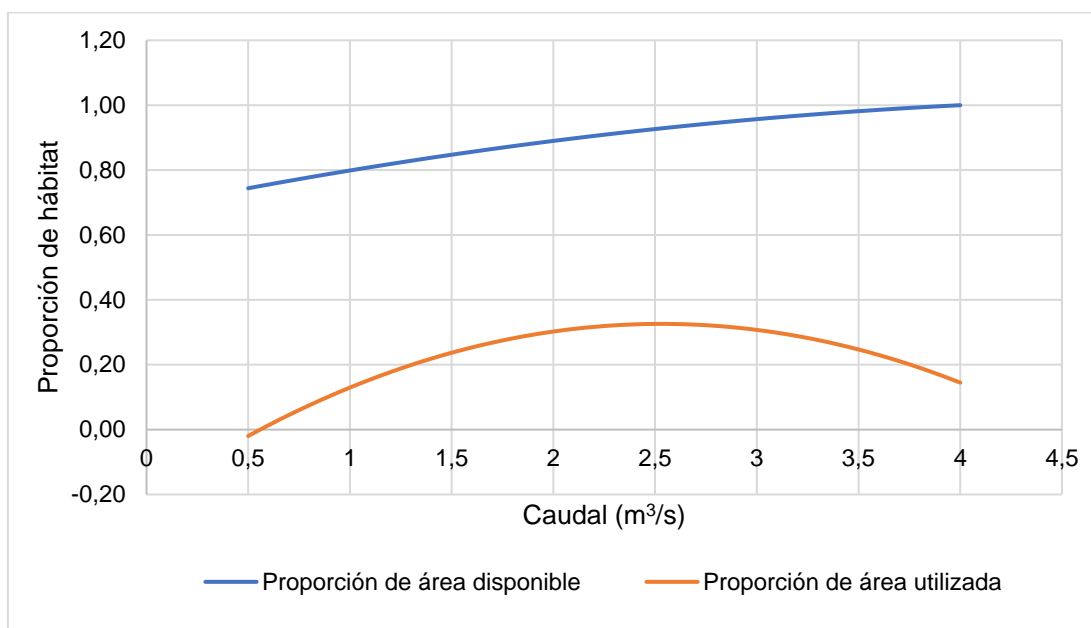


Figura 7.97. Habitabilidad, habitabilidad óptima y habitabilidad total de *Cryphiops caementarius* relación al área-caudal en la zona II

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

Debido a la poca presencia y baja abundancia de *Cryphiops caementarius* en la zona III y a que, la poca presencia, no presentó uniformidad en los registros en las UHM, es decir su presencia no fue coincidente en una determinada UHM en los períodos de muestreo en los meses junio, julio, setiembre y octubre 2019, por lo cual, no se obtuvo buenas correlaciones, tanto para la regresión logística, como para el enfoque de árboles de decisión.

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 8 km entre los 700 y 835 m s.n.m se encuentran ubicadas en la parte media baja de la cuenca del río Pativilca²³. El río Pativilca tiene una pendiente promedio de 2,7 % (ANA, 2015) y en las zonas evaluadas el río tiene una pendiente promedio de 5 % para la zona I; 10 % para la zona II; y 15 % en la zona III. El tramo del río en la zona I presenta mayores variaciones de ancho y profundidad registrando mayores profundidades respecto a la zona II y III, esto genera la presencia de saltos y rápidos caracterizándose así como un régimen torrentoso característico de ríos de la costa (Mariazza *et al*, 2006) 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. La zona II se caracteriza por tener las más bajas profundidades.

²³

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.

A partir de la zona III el cauce del río se ensancha ligeramente en comparación con la zona I teniendo menores profundidades que la zona I a pesar de tener valores similares de caudales, se aprecia también mayores áreas con zonas agrícolas en la franja marginal del río por lo cual durante la temporadas de lluvias tienen alto potencial erosivo. En la Figura 8.1 la morfología del lecho del río por cada zona evaluada.

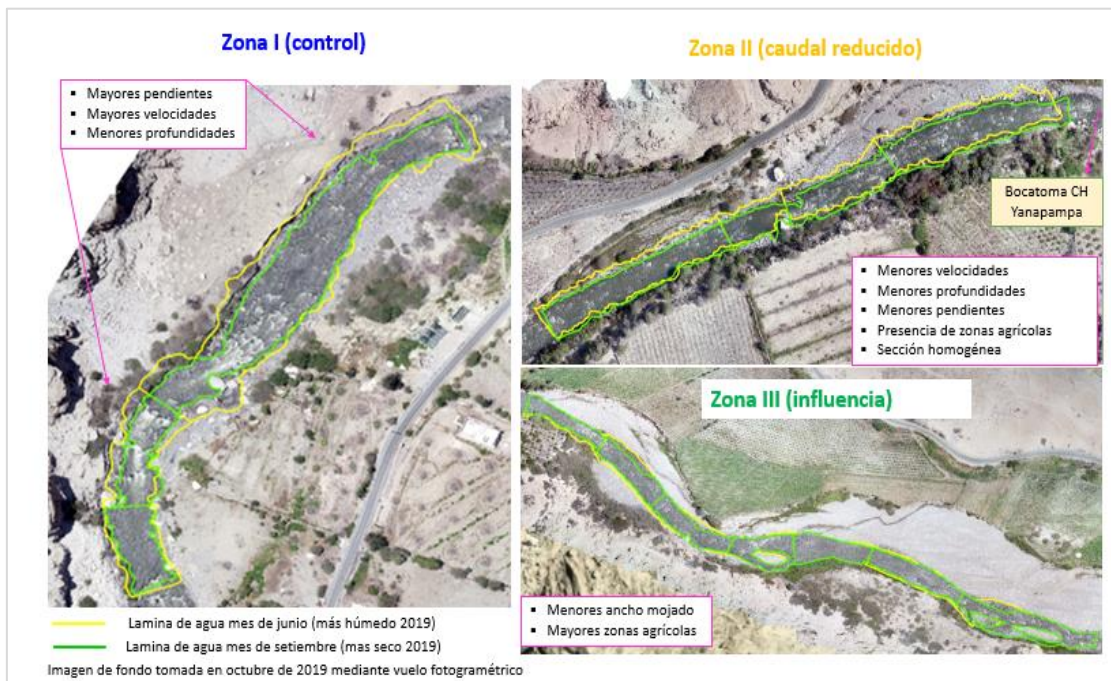


Figura 8.1. Morfología del lecho del cauce del río Pativilca evaluado por zonas

Variabilidad del régimen de caudales en el río Pativilca

El río Pativilca aguas arriba de la C.H. Yanapampa (cuena media-baja) 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 agrarios²⁴), asimismo las aguas que capta C.H Yanapampa proviene de la restitución de agua de la central hidroeléctrica Cahua, la cual tiene 3 DUA²⁵, la primera licencia corresponde a la autorización de la captación de agua en el río Pativilca de hasta 6'11,622 MMC anuales, y las otras 2 licencias para el aprovechamiento de los recursos provenientes de las Lagunas Viconga²⁶ y Collorcocha, de hasta 28 MMC anuales y de hasta 0,5 MMC anuales respectivamente. Dicha condición sumado a la variabilidad de producción de C.H. Cahua ocasiona que también el flujo de agua antes de la captación de C.H Yanapampa²⁷ sea irregular sumado a la característica particular de un río costero (Mariazza *et al*, 2006).

En la Figura 8.2 se muestra la ubicación de los DUA otorgados aguas arriba de la C.H. Yanapampa.

²⁴ Derechos de uso de agua otorgados a las comunidades campesinas de Mahuay, Pocpa, Pomapata, Quero, San Antonio de Quisipata, 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).

²⁵ 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.

²⁶ 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.

²⁷ R.D. N.º 0657-2013-ANA-AAA-CAÑETE-FORTALEZA del 2 de diciembre de 2013

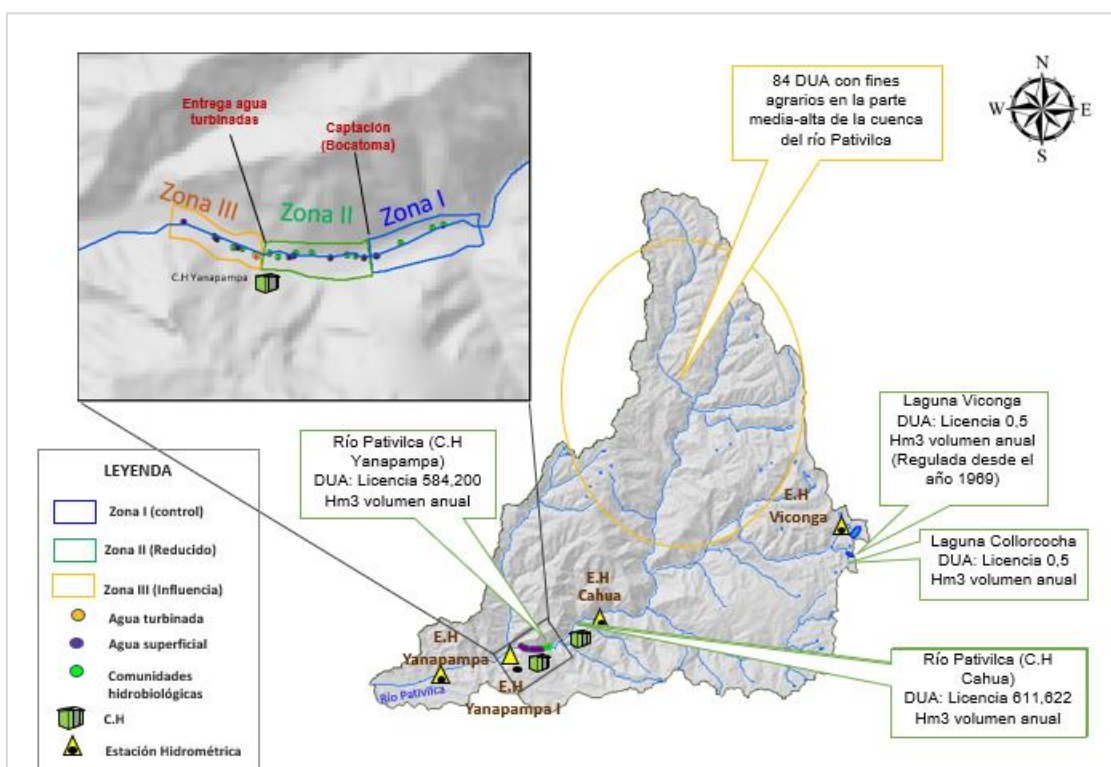


Figura 8.2. Derecho de uso de agua cuenca media y alta del río Pativilca

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 y del 1968 al 2008, 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 y el percentil de excedencia de 75 % para un año seco (Figura 8.3, 8.4 y 8,5).

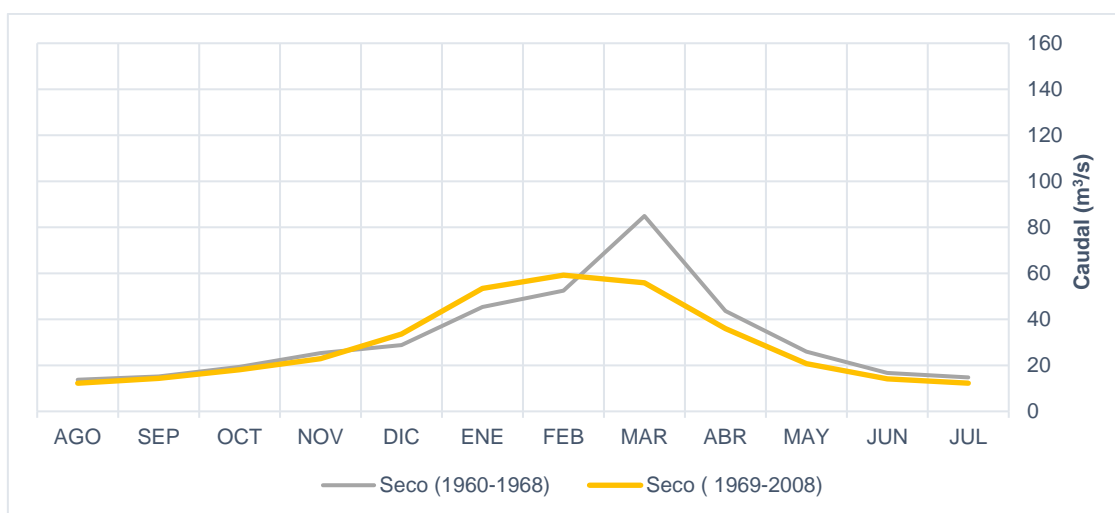


Figura 8.3. Caudal medio mensual de un año seco en la estación Yanapampa

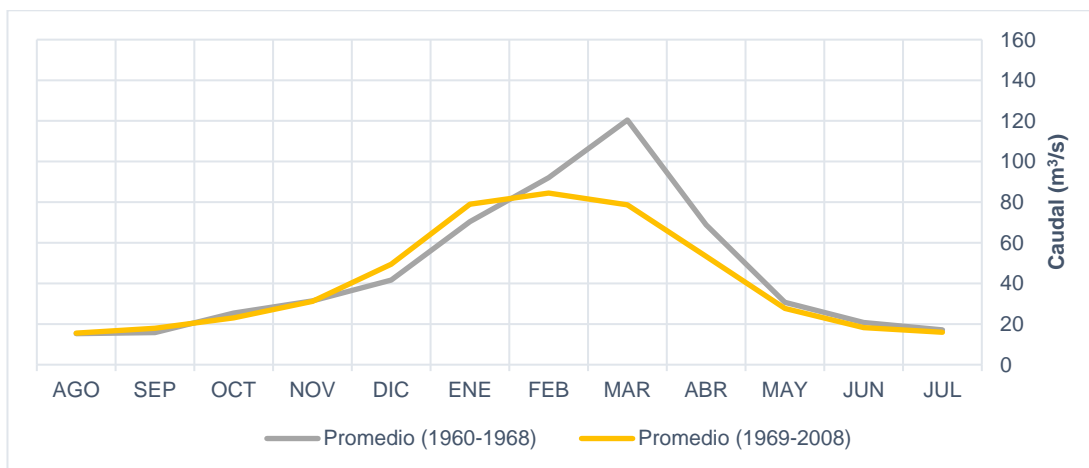


Figura 8.4. Caudal medio mensual de un año promedio en la estación Yanapampa

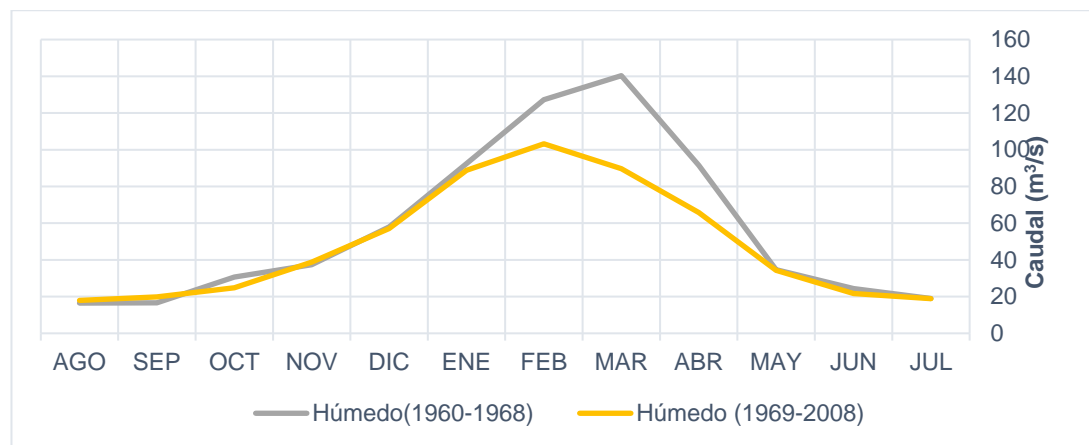


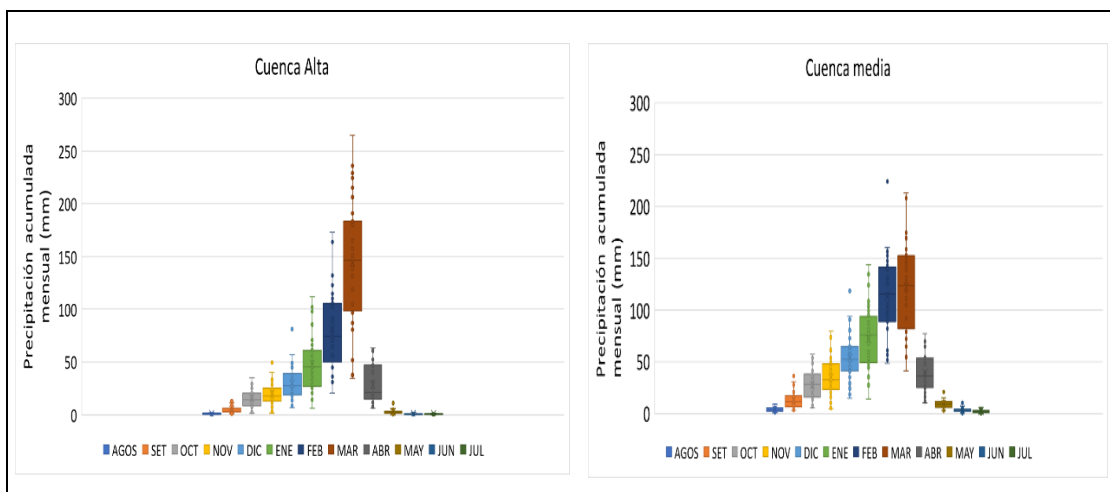
Figura 8.5. Caudal medio mensual de un año húmedo en la estación Yanapampa

Como se puede apreciar en la Figura 8.3 y 8.4 y 8.5 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 generó precipitación a partir del producto PISCO²⁸ (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 8.6). 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».

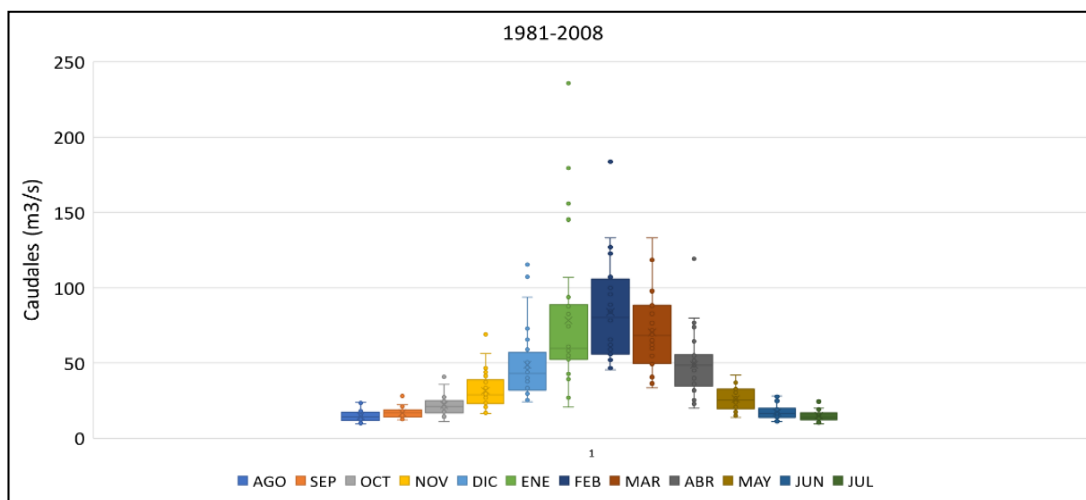
En la Figura 8.7 se muestra la variación mensual de precipitación histórica (1981-2016) de la parte alta y media de la cuenca del río Pativilca.

²⁸ 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 8.6.** Variación de precipitación total mensual histórica (1981-2016)

Fuente: Lavado, 2016

Es así, que el régimen de precipitación (Figura 8.6) 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 y 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.

**Figura 8.7.** Hidrograma de caudales históricos medios en la estación Yanapampa I (1981-2008)

El régimen de descargas de caudales diarios registrados en la estación Yanapampa I²⁹ (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 de la C.H Yanapampa tiene un coeficiente de variación de hasta un 30 % entre enero y mayo y de hasta 15 % entre junio a diciembre (Figura 8.8), es así que, la zona II (caudal reducido) tiene similar coeficiente de variación de caudales diarios.

29

Ubicada en el puente Cahua, aproximadamente a 2 km del centro poblado del mismo nombre

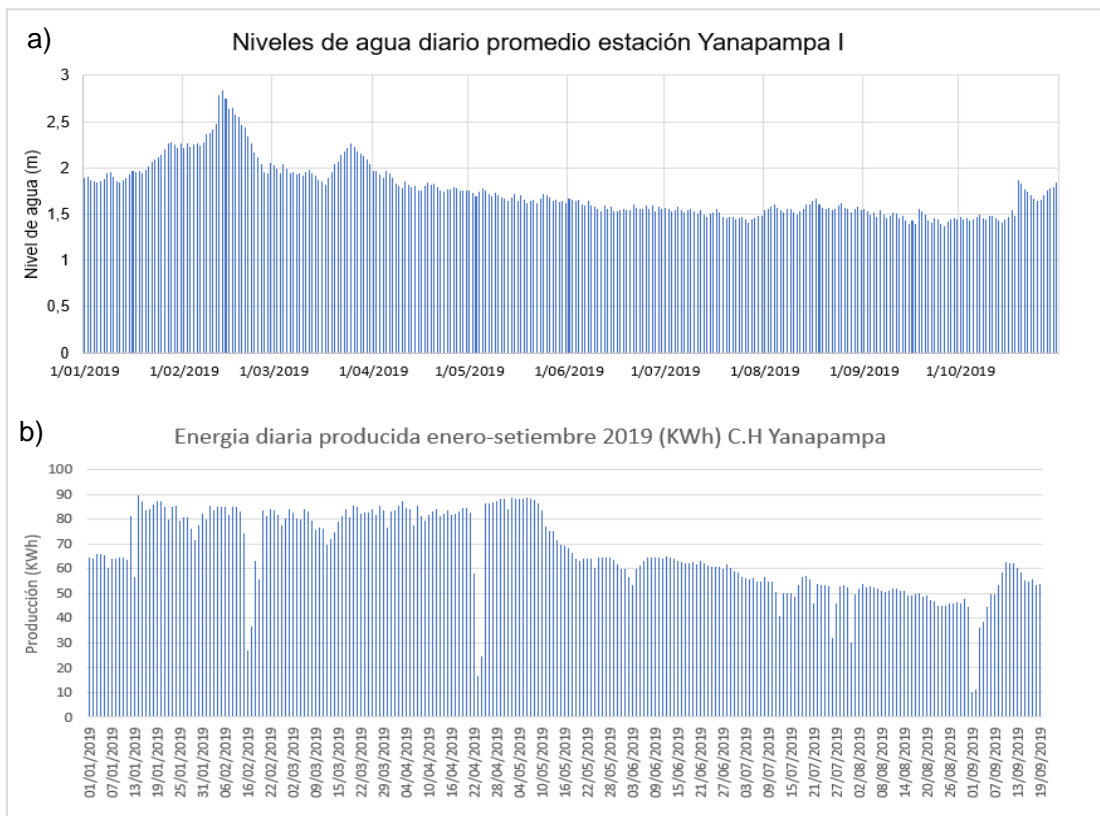


Figura 8.8. Hidrograma a) niveles registrados en la estación Yanapampa I b) producción de energía C.H. Yanapampa.

De acuerdo a los aforos realizados durante la evaluación (Figura 8.9) se resalta que, entre los meses de setiembre y octubre en la zona II se registraron caudales inferiores³⁰ al caudal ecológico de cumplimiento de C.H Yanapampa³¹ equivalente a 2,1 m³/s. Asimismo, se aprecia que hubo un incremento de caudal en la zona I en el mes de octubre³², debido a precipitaciones registradas durante los días de trabajo en campo, coincidente con los registros de niveles de agua en la estación Yanapampa I (Figura 8.9a). Las variaciones de caudales registrados en la zona I y zona III se atribuyen a la variabilidad hidrológica del río por lo expuesto anteriormente. Los registros de mediciones para determinar caudales se encuentran en el Anexo 12.

³⁰ Los aforos realizados a la zona II que estuvieron por debajo del caudal ecológico de cumplimiento de C.H. Yanapampa fueron realizados el 14 de setiembre de 2019 y el 15 de octubre de 2019.
³¹ R.D N° 657-2013-AAA del 2 de diciembre de 2013.
³² El 17 de octubre de 2019 se registraron incremento de caudal debido a la presencia de precipitaciones.

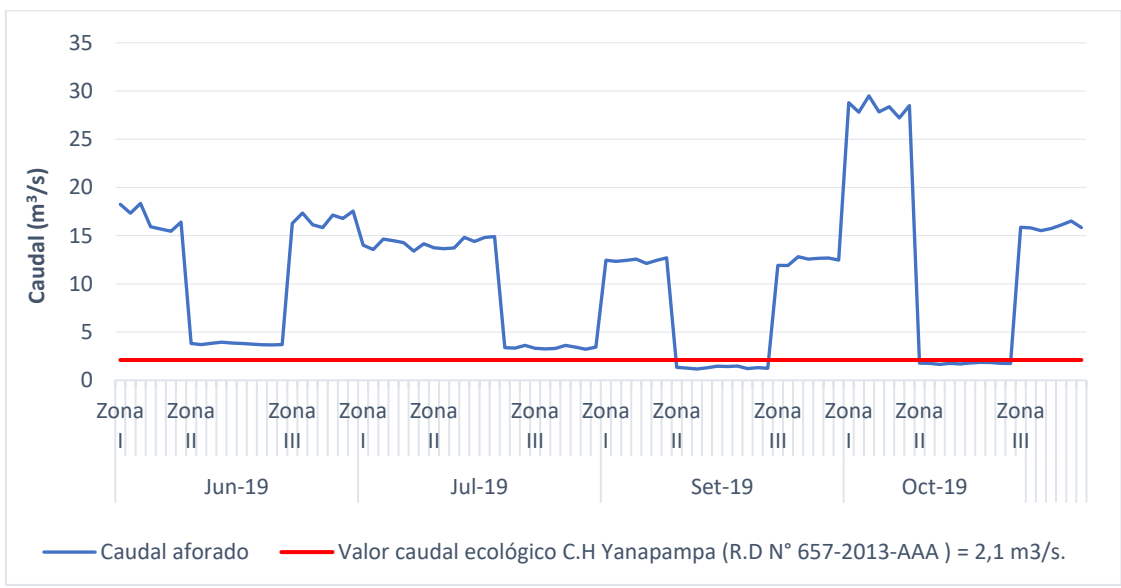


Figura 8.9. Hidrograma de caudales diarios aforados durante la evaluación 2019

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 IAHRIS³³ (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.

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 8.10. Clasificación cualitativa de los índices globales
Fuente: ANA (2015) pp.441.

Para el caso del 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 8.11). La zona II se caracterizó por un mayor porcentaje de mesohábitat de tipo rápido medio y rápido bajo, mientras que los mesohábitat predominante en las zonas I y III fueron corriente. Las unidades hidrogeomorfológicas de la zona II se caracterizaron por presentar una menor velocidad, profundidad y ancho mojado (Figura 7.78, 7.79 y 7.81) en comparación con la zona I y III; dichas características conducen procesos vinculados con las comunidades hidrobiológicas, las cuales son explicadas a continuación.

³³ Desarrollado por los profesores de la EUIT, Dirección General de Aguas y el CEDEX. EL AIHRIS permite caracterizar el régimen hidrológico tanto natural como alterado.

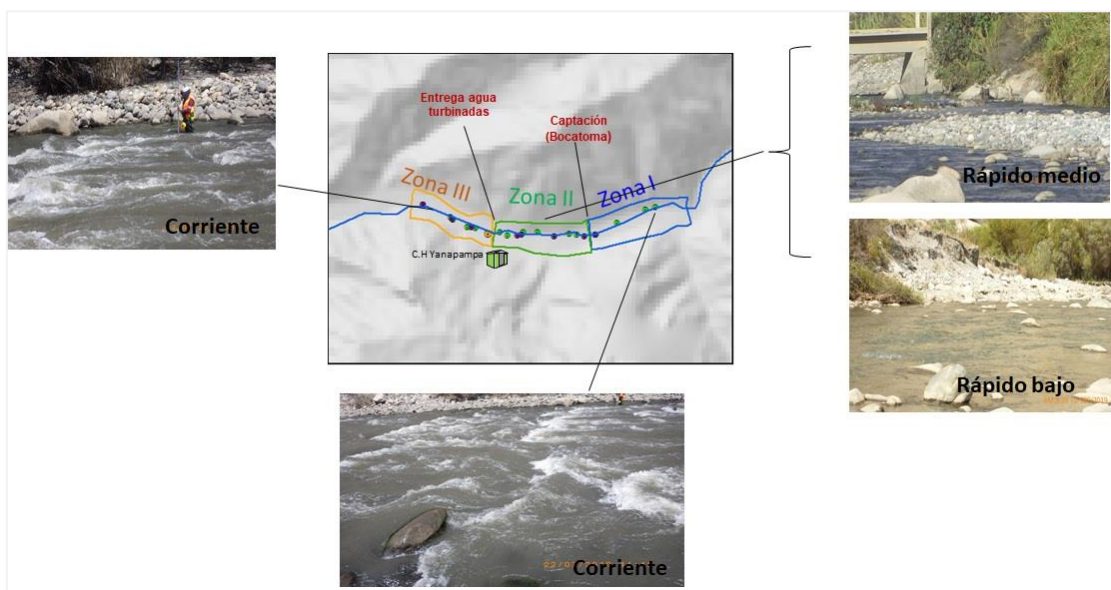


Figura 8.11. Condiciones hidromorfológicas de las zonas evaluadas

En el caso de perifiton, las curvas de acumulación de especies mostraron una mayor cantidad de especies en la zona II en los meses de julio y setiembre (Figura 7.30 y 7.31), sin embargo, esta mayor cantidad de especies muchas veces estuvo acompañado de la dominancia de determinados grupos como se observa en los gráficos de cajas de la equidad de Pielou para setiembre (Figura 7.28). Las variables que parecieron definir mejor la comunidad de perifiton (Figura 7.32) fueron aquellas variables no relacionadas directamente al cambio de caudal, como se esperaría encontrar con sólidos totales en suspensión y sólidos totales disueltos, sin embargo, la conductividad eléctrica se mostró como variable explicativa en el análisis de correspondencias canónicas.

El comportamiento de la zona II fue diferente entre los meses, sin embargo, en setiembre 2019 las características fisicoquímicas fueron más resaltantes, siendo los sólidos totales en suspensión menores en la zona II (Figura 7.75). Esta característica se reflejó en la comunidad de perifiton, donde tuvo valores de riqueza (Figura 7.22) y abundancia más altos (Figura 7.31). En cuanto a las características hidromorfológicas, la zona II (zona de caudal reducido) estuvo caracterizado por tener menos valores de velocidad (Figura 7.81), menos ancho mojado (Figura 7.79) y menos profundidad (Figura 7.78). La velocidad es una de las variables que influye en la comunidad de perifiton (Montoya y Aguirre, 2013), limitando la abundancia de esta. La velocidad interactúa con los sólidos totales en suspensión los cuales están asociados 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 es notoria en setiembre (Figura 7.76) es la turbidez, La disminución de la turbidez en la zona II está directamente relacionado a la menor cantidad de sólidos totales en suspensión encontrados ahí.

La 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).

En el caso de los macroinvertebrados bentónicos, la facilidad del muestreo en la zona II es un factor importante. La zona II (zona de caudal reducido) permite la fácil remoción de

cantos rodados, en cambio, “*boulders*” (bolones) encontrados en las zonas I y III no pudieron ser removibles (Figura 8.11) 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, característica notoria en el mes de junio (Figura 7.46) y setiembre (Figura 7.48), además condiciona la presencia de mayor cantidad de especies, como se observa en los meses de junio y julio de 2019 (Figuras 7.37 y 7.38 respectivamente). En el caso de setiembre 2019, la cantidad de especies no fue mayor en la zona II pero sí tuvo una mayor abundancia (Figura 7.48) con una baja equidad (Figura 7.45), esto podría estar asociado a la limpieza de canales que realizó la C.H. Yanapampa días previos a la colecta de macroinvertebrados bentónicos (Figura 8.12), generando el arrastre de varias especies de macroinvertebrados bentónicos debido al cambio brusco de caudal en la zona II. Dando oportunidad de colonización a determinadas especies, después del impacto, reflejándose en una mayor abundancia y una menor equidad de la zona II³⁴.

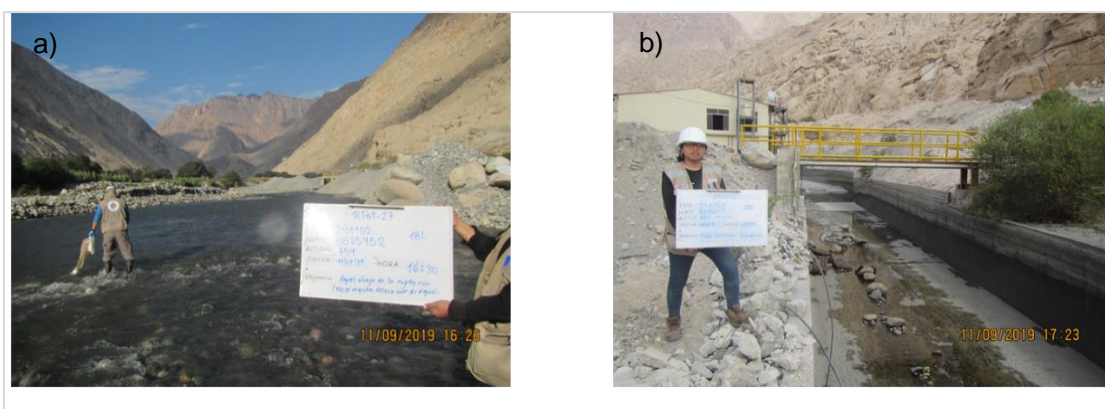


Figura 8.12. Limpieza de los canales de conducción C.H Yanapampa (11 de setiembre 2019). a. Punto de muestreo RPat-27 (zona II), b. Punto de muestreo EFLU-2 (agua turbinada).

A pesar de, del régimen hidrológico tan variable en de la zona II, los valores del ABI son superiores al «bueno» (Figura 7.49). 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. Esto se refleja en la cantidad de familias por grupo del índice LIFE (Figura 7.51), la zona de caudal reducido presentó una mayor cantidad de familias con preferencias a pozas, mientras que la zona I y III, las familias con preferencias a pozas fueron menores.

³⁴

La muestras de perifiton y macroinvertebrados bentónicos fueron tomadas el 29 de setiembre de 2019 debido al cierre de las compuertas de captación de C.H. Yanapampa para realizar trabajos de limpieza, días programados para la evaluación (11 al 15 de setiembre 2019), ocasionando el lavado de del cauce en esta zona por lo cual durante esos días no se tomaron muestras de macroinvertebrados bentónicos ni tampoco perifiton, la colecta de camarones y mediciones de caudales se realizó el día 14 de setiembre de 2019 cuando nuevamente abrieron sus compuertas de captación. Para el caso de las muestras de perifiton y macroinvertebrados bentónicos las muestras fueron tomadas el 29 de setiembre de 2019.



Respecto a la abundancia de camarones esta fue mucho mayor en las zonas I y II (Figura 7.56). 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 control (zona I) y caudal reducido (zona II) (Figura 7.81 y 7.78), mientras que la zona III se caracterizó por no tener registros bajos de velocidad ($<0,6$ m/s), limitando la presencia de camarones. 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.

Asimismo, el régimen irregular de un río costero con periodicidad marcada del régimen de descarga en cuanto a amplitud e intensidad también marca procesos de sucesión características que condicionan su productividad primaria (Mariazza *et al*, 2006). Esto determina endemismos marcados con biota especialmente adaptada a estas condiciones de alternancia (Ortega y Hidalgo). Esto se corrobora con la tendencia de las altas concentraciones de sólidos suspendidos y turbidez registrados en el mes de junio 2019 y una disminución a nivel temporal. Asimismo, se aprecia que la mayor concentración de estos parámetros se registró en la zona I para las 4 temporadas evaluadas (Figura 7.75 y Figura 7.76).

Desde la perspectiva del método utilizado en la presente evaluación ambiental, el cambio, el 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.

Según el modelo holístico MesoHABSIM para las 3 zonas evaluadas la zona I obtuvo la mejor respuesta al comportamiento de hábitat. Dicha zona se asemeja a las condiciones de un río pristino, aun cuando se encontró en posición intermedia entre la restitución o devolución de la C.H Cahua y la toma de agua de C.H. Yanapampa. Razón por la cual, se tomó como referencia el modelo de dicha zona para determinar el caudal ecológico (Figura 8.13).

El modelo de hábitat para la zona I muestra que las características geomorfológicas y a la periodicidad del régimen de caudales son condicionantes para que un área sea habitable y aprovechada por el camarón de río. El río Pativilca, a diferencia de los ríos costeros de la región central no disminuye sus caudales. La información hidrológica recabada registra una media de 75 m³/s (febrero) y 10.7 m³/s (setiembre). Dentro de este espectro de condiciones, el camarón de río prefirió áreas someras y de flujo rápido (modelo de habitabilidad) preferentemente en condiciones de flujo donde predominó la vegetación sumergida, la cual sirve de refugio a invertebrados bentónicos y otras presas que tornan más aprovechable el hábitat disponible (Figura 7.46). Fue precisamente en temporadas donde estas dos variables se conjugaron por lo que *Cryphiops caementarius* tuvo la mayor área habitable en caudales 12.47 m³/s (setiembre). Extrapolando los valores a la relación

área caudal, se obtuvo que la máxima preferencia de hábitat estaría en torno a $10 \text{ m}^3/\text{s}$ (Figura 8.13).

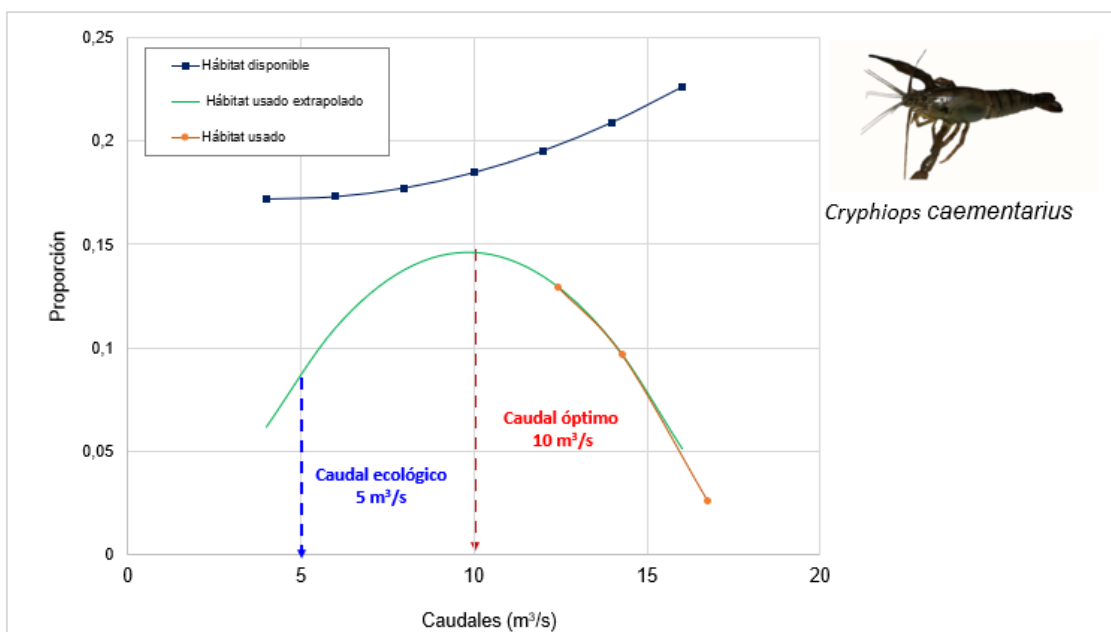


Figura 8.13. Porcentaje de hábitat o área versus caudal

En la Figura 8.13 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 y del caudal ecológico compromiso de C.H Yanapampa ya que su estimación fue realizada utilizando solo métodos hidrológicos.

Para el caso de la zona II, el régimen de caudales está en función de la cantidad de agua que toma la represa de Yanapampa para su actividad de generación, dejando una zona de caudal reducido de $2,0 \text{ km}$. La preferencia de hábitat para esta área de caudal reducido mostró que la habitabilidad, es decir la presencia de *Cryphiops caementarius* se ve favorecida con la disminución del ancho de cauce y la mayor área porcentual de áreas someras, canto rodado y la presencia de vegetación sumergida. En este punto es importante destacar que la mayor habitabilidad ocurrió a caudales menores de $1.76 \text{ m}^3/\text{s}$ y que el área aprovechada disminuye conforme aumenta el caudal. Esta relación inversa tiene explicación en el hecho que, debido al régimen de caudales obedecen a la actividad de generación, donde solo se genera mayor área inundada en períodos de avenidas, es decir en períodos en los que se registran altos valores de sólidos en suspensión y turbidez, lo que condiciona poca productividad. En concreto se tiene mayor área de cauce disponible, pero con condiciones pobres de habitabilidad.

En cuanto a la preferencia de hábitat para la habitabilidad óptima en la zona II los resultados mostraron el efecto de la excesiva disminución del flujo. Así, en la zona de caudal reducido el camarón de río es abundante cuando disminuyen las áreas someras y de flujo rápido, hay presencia de vegetación sumergida y aumenta el ancho promedio. Estos resultados parecen contradecir el modelo de habitabilidad, pero más bien es un resultado complementario donde *Cryphiops caementarius* incrementa su dispersión en las UHM de la zona de caudal reducido con la disminución del caudal como está recogido en



el modelo de habitabilidad, sin embargo, cuando se dió esta dispersión, ocurrió también que el caudal disminuyó por debajo del umbral de habitabilidad óptima. Así *Cryphiops caementarius* solo fue abundante en aquellas áreas con mayor ancho y que por su conformación geomorfológica presentaban las menores áreas rasas y someras (UHM 8 y UHM 9), siendo que en otras UHM si bien estuvo presente no cumplió el umbral de abundancia.

Para la zona III la poca presencia y baja abundancia de *Cryphiops caementarius* y sumado a que no se presentó uniformidad en los registros en las UHM, es decir su presencia no fue coincidente en una determinada UHM en los períodos de muestreo en los meses junio, julio, setiembre y octubre 2019, por lo cual, no se obtuvo buenas correlaciones, tanto para la regresión logística, como para el enfoque de árboles de decisión.

9. CONCLUSIONES

La presente evaluación abarcó el área de influencia de la C.H. Yanapampa y el río Pativilca el cual se caracteriza por tener un sistema regulado en toda la cuenca, la evaluación fue dividida 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 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.

A continuación, las conclusiones:

- 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 1,5 y 4 m³/s.
- ii. En las 3 zonas evaluadas se registraron una distribución heterogénea de *Cryphiops caementarius* (1,5 a 20 cm) resaltando mayor abundancia en la zona I, la misma que se ve favorecida por la mayor área porcentual de áreas someras, canto rodado y la presencia de vegetación sumergida.
- iii. 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 principalmente en el mes de setiembre. Estos valores, no excedieron los estándares de calidad ambiental (ECA) para Agua (2017), Categoría 3, a excepción del potencial de hidrógeno (pH) que estuvo por encima del estándar mencionado en las zonas evaluados.
- iv. Los sedimentos no mostraron diferencias especiales entre las zonas, sin embargo, mostraron concentraciones de arsénico que excedieron referencialmente los valores PEL Estándares de la Guía de Calidad Ambiental de Canadá–CEQG en las 3 zonas y meses evaluados del río Pativilca, a excepción de la zona II en el mes de julio de 2019; además de zinc en la zona I, que excedieron dicho estándar.



- v. Los sólidos totales en suspensión mostraron su influencia en la comunidad de perifiton, en particular setiembre del 2019, limitando su desarrollo debido al 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 están 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 con 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
Anexo 11: Procesamiento de datos
Anexo 12: Topobatimetría
Anexo 13: Lista de colecta de camarones y peces
Anexo 14: 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, Á. H., Naiman, R. J., McClain, M. E., & Nilsson, C. (2010). Preserving the biodiversity and ecological services of rivers: new challenges and research opportunities. *Freshwater Biology*, 55(1), 1-16.

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., y 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>

Bunn, S. E., & Arthington, A. H. (2002). Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity. *Environmental management*, 30(4), 492-507.

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, Washington, 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.

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.

Fitzpatrick, F. & Giddings, E. (1997). *Stream hábitat 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.

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.

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 Geomorfologicas de rios tcm30-136698.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/delimitacion-y-restauracion-del-dominio-publico-hidraulico/Alteraciones_Geomorfologicas_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 herramienta 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.

Poff, N. L. (1997). Landscape filters and species traits: towards mechanistic understanding and prediction in stream ecology. *Journal of the north american Benthological society*, 16(2), 391-409.

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>.

Richter, B. D., Braun, D. P., Mendelson, M. A., & Master, L. L. (1997). Threats to imperiled freshwater fauna: amenazas a la fauna dulceacuicola en riesgo. *Conservation biology*, 11(5), 1081-1093.

Rocha, A. (1998). *Introducción a la Hidráulica Fluvial*. Perú.

Roldán, G. y 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*, 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. y 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).



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

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.